

Neue Bezeichnung: INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG
AMTLICHE MATERIALPRÜFANSTALT FÜR DAS BAUWESEN
BRAUNSCHWEIG, BEETHOVENSTRASSE 52 · FERNRUF 3912281

30-0074 / 001

Untersuchungen über den Einfluß der Feinst-
sandanteile auf die Verdichtungswilligkeit von
Beton (Gummibeton)

Abschlußbericht erstattet von
F.S. Rostásy und E.H. Ranisch, Braunschweig
Juli 1980

Forschungsarbeit Nr. 8.042 G 77 A gefördert vom
Bundesminister für Verkehr

B I B L I O T H E K
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstraße 52
D-3300 Braunschweig

1. Einleitung

Vor allem in den fünfziger und sechziger Jahren sind bei mehreren Betonstraßenbaustellen Schwierigkeiten bei der maschinellen Betonverdichtung folgender Art aufgetreten. Der Beton federte unter der letzten Glättbohle zurück, so daß eine wellige Betonoberfläche entstand, die den Fahrkomfort beeinträchtigte und gelegentlich auch zu Abzügen bei der Vergütung der Straßenbaufirma führte. Dieses Phänomen erhielt Ende der fünfziger Jahre den Namen "Gummibeton". Seinen Ursachen ging Professor Jurecka in einer Forschungsarbeit nach, deren Ergebnisse im Jahre 1966 veröffentlicht wurden [1]. Jurecka und Vluchakis stellten darin fest, daß Betonzusammensetzungen mit einem Mehlkorngehalt von mehr als 400 kg/m^3 oft schlechte Oberflächen der beschriebenen Art ergaben. Eine Erklärung für das federnde Frischbetonverhalten konnte jedoch noch nicht gegeben werden.

In den darauffolgenden Jahren traten bei weiteren Straßenbaustellen Ebenheitsprobleme durch "Gummibeton" auf. Deshalb stellten wir im Jahre 1973 den Forschungsantrag "Gummibeton". Damit sollte der Vermutung nachgegangen werden, ob das Rückfedern primär durch lufthaltende Feinstsande verbunden mit künstlich eingeführten Luftporen verursacht wird. Nach der Erteilung des Forschungsauftrages im September 1977 stellten wir in Übereinstimmung mit der Betreuergruppe fest, daß das Problem "Gummibeton" inzwischen in der Praxis nicht mehr auftritt. Die Gründe hierfür wurden in unserem Sachstandsbericht [2] vom Juni 1978 angegeben.

Die im Rahmen dieses Sachstandsberichts durchgeführte Literaturauswertung sowie Befragungen von Fachleuten ließ vermuten, daß bei zunehmendem Mehlkornanteil mit einer progressiv abnehmenden Verdichtungswilligkeit des Betons zu rechnen ist. Verdichtungsunwilliger Beton kann dann unter Umständen Fahrbahnunebenheiten zur Folge haben.

In der z.Zt. gültigen Vorschrift für den Betonstraßenbau, der ZTV Beton 78 [3], wurde u.a. deshalb der Mehlkorngehalt auf 450 kg/m^3 begrenzt. Diese Forderung ist regional mit wirtschaftlichen Schwierigkeiten verbunden. Im Zuge der angespannten Rohstoffsituation, auch bei Betonzuschlag, werden sich diese Schwierigkeiten im Laufe der nächsten Jahre verschärfen.

Auf Wunsch der Betreuergruppe sollte deshalb durch Versuche geprüft werden, ob hinsichtlich der Verdichtbarkeit von Straßenbeton ein höchstzulässiger Mehlkorngehalt angegeben werden kann. Hierzu wurde ein geeignetes Versuchsprogramm aufgestellt, vom BMV genehmigt und in dankenswerter Weise finanziell gefördert.

Wir bedanken uns außerdem bei den Mitgliedern der Betreuergruppe, den Herren Dr. Christoffel, Dr. Grübl, Reimer, Siebel und Teubert für ihre Anregungen und Beratung.

2. Versuchsprogramm

Der Einfluß der Mehlkornmenge auf die Verdichtbarkeit von Straßenbeton sollte mit zwei verschiedenen Feinstsanden mit einem Korndurchmesser $\leq 0,25 \text{ mm}$ studiert werden. Die beiden Sande sollten beim Durchgang durch das $0,1 \text{ mm}$ Sieb einen möglichst großen Unterschied aufweisen, um den Einfluß der Kornverteilung im Feinstsandbereich sichtbar zu machen.

Ausgegangen wurde von einem nach ZTV Beton 78 zusammengesetzten Straßenbeton mit einem Sandanteil $0/2 \text{ mm}$ von 30%. Mit den im Zuschlag enthaltenen Feinstsandanteilen $\leq 0,25 \text{ mm}$ von 3,8% und dem Zementgehalt von 340 kg/m^3 ergab sich für den Ausgangsbeton ein Mehlkorngehalt von rd. 400 kg/m^3 . Dieser Mehlkorngehalt entspricht dem empfohlenen Wert für 32 mm Größtkorn nach DIN 1045.

Um den Einfluß der Mehlkornmenge auf die Verdichtbarkeit zu untersuchen, wurde der Feinstsandanteil in Stufen von 50 kg/m^3 erhöht. Dies geschah dadurch, daß der Sandanteil $0/2 \text{ mm}$ in

entsprechenden Mengen durch Feinstsand 0,25 mm ersetzt wurde. Die größte untersuchte Feinstsandmenge betrug 350 kg/m^3 , entsprechend einem Siebdurchgang durch das 0,25 mm Sieb von 19,7% und einer Mehlkornmenge von rd. 710 kg/m^3 .

Die einzelnen Probemischungen wurden für jeden der beiden Feinstsande zwei- bis viermal in zufälliger Reihenfolge hergestellt.

3. Baustoffe, Betonzusammensetzung

3.1 Baustoffe

3.1.1 Zement

Verwendet wurde ein Portlandzement PZ 35 F "Teutonia". Das Ergebnis der chemischen Analyse, die spezifische Oberfläche und die Normendruckfestigkeit nach DIN 1164 zeigt Tabelle 3.1.

T a b e l l e 3.1: Eigenschaften des Zementes

Glühverlust	Gew.-%	2,55	-
HCl-unlösliches	Gew.-%	0,78	-
Siliziumoxid	Gew.-%	20,25	20,95
Eisenoxid	Gew.-%	1,84	1,90
Aluminiumoxid	Gew.-%	4,86	5,03
Calciumoxid	Gew.-%	65,44	67,69
Magnesiumoxid	Gew.-%	0,95	0,98
Sulfat	Gew.-%	2,66	2,75
Rest	Gew.-%	0,67	0,69
Spez. Oberfläche	cm^2/g	3330	
Normendruckfestigkeit	N/mm^2	51,0	

Damit entspricht dieser Zement dem von DIN 1164 vorgegebenen Standard und ist mit vielen anderen vergleichbar.

3.1.2 Zuschlag

Der Zuschlag stammte aus dem nördlichen Harzvorland. Nach Angabe der Hersteller und nach Augenschein entsprach er DIN 4226. Der Zuschlag des Ausgangsbetons bestand aus folgenden Volumenanteilen:

30% Sand	0/2 mm (Grube Sonnenberg)
20% Kies	2/8 mm (Grube Sonnenberg)
50% Splitt	8/22 mm (Oker, quarzitisches Grauwacke)

Die Sieblinie ist in Bild 3.1 dargestellt.

3.1.3 Feinstsand

Der Feinstsand wurde durch Aussieben der Fraktion 0/0,25 mm aus zwei natürlichen Grubensanden 0/1 mm erhalten. Der Sand A stammte aus der Grube Abbesbüttel bei Braunschweig und der Sand B aus der Grube Sengwarden bei Wilhelmshaven. Die Sieblinien der Feinstsande wurden mit einem Alpine-Luftstrahlsieb bestimmt. Sie sind auf Bild 3.2 dargestellt.

Eine petrografische Untersuchung der Sande wurde durch eine Röntgenfeinstrukturanalyse durchgeführt. Danach besteht der Sand A zu 97% aus Quarz und der Sand B zu 95% aus Quarz. Der Rest besteht i.w. aus Feldspat. Die Beurteilung der Kornform erfolgte aufgrund von mikroskopischen Untersuchungen nach Russel-Taylor-Pettijohn ¹⁾ durch die Angabe der Rundungsgrade (siehe hierzu auch [2]). Die Kornform der beiden Sande war angenähert gleich, der Rundungsgrad ist als subangular einzustufen.

1) German Müller: Methoden der Sediment-Untersuchung
Teil 1, Stuttgart 1964

3.2 Betonzusammensetzung und -herstellung

Der Ausgangsbeton war nach den üblichen Regeln des Betonstraßenbaues und nach der ZTV Beton 78 zusammengesetzt.

Betonzusammensetzung:

Wassergehalt	w	=	143 kg/m ³
Zementgehalt	z	=	340 kg/m ³
Zuschlaggehalt	g	=	1868 kg/m ³
Mehlkorngehalt	k	=	400 kg/m ³
Luftporenbild- ner LPS	:	0,05% von z	
Luftgehalt	p	=	4 Vol.-%
Wasserzement- wert	w	=	0,42
Frischbetonroh- dichte soll $\rho_{b,h}$		=	2350 kg/m ³

Die Versuchsbetone von je 20 l Frischbeton wurden in einem Laborzwangsmischer gemischt. Die Mischzeit betrug 0,5 Minuten vor der Wasserzugabe und 2 Minuten nach der Wasserzugabe. Sand und Feinstsand waren bei 105° getrocknet worden. Die Eigenfeuchte der übrigen Zuschläge wurde vor dem Einwiegen bestimmt und auf das Anmachwasser angerechnet.

4. Durchgeführte Untersuchungen

4.1 Allgemeines

Für die Prüfung der Verdichtungswilligkeit von Frischbeton gibt es zur Zeit noch kein direktes Verfahren. In der Praxis ist es üblich, vom Ergebnis der Konsistenzprüfungen nach DIN 1048 (Ausbreitmaß und Verdichtungsmaß) und einer Prüfung nach Augenschein auf die Verdichtungswilligkeit zu schließen. Man kann wohl sagen, daß sich diese Vorgehensweise bei plastischen bis weichen Konstruktionsbetonen im allgemeinen bewährt hat.

Straßenbetone sind in Deutschland etwas nasser als erdfeucht und besitzen eine steife Konsistenz. Der Ausbreitversuch ist mit ihnen nicht durchführbar. Baustellenerfahrungen und unsere

Versuche haben gezeigt, daß solche Betone bei gleichem Verdichtungsmaß erhebliche Unterschiede in der Verdichtungs-
willigkeit aufweisen können. Nach [4] hat sich der Vebe-Test
nach Britisch Standard 1881 zur Abschätzung der Verdichtungs-
willigkeit bei Vibrationsverdichtung bewährt und wurde des-
halb auch in unser Untersuchungsprogramm aufgenommen. Zur
Verringerung der Prüfungenauigkeiten wurden alle Frischbe-
tonversuche von ein und demselben Laboranten durchgeführt.

4.2 Vebe-Wert

Das Vebe-Gerät besteht aus einem kleinen Vibrationstisch
und einem aufgeschraubten zylindrischen Behälter (Durchmes-
ser 24 cm Höhe 20 cm). Darin wird aus dem zu untersuchenden
Beton ein Kegelstumpf ähnlich wie beim Ausbreitversuch herge-
stellt. Auf den entformten Kegelstumpf wird eine horizontale
Glasplatte, die in vertikaler Richtung beweglich ist, abge-
senkt. Bei Ingangsetzung der Vibration sinkt der Kegelstumpf
zunächst zusammen und wird dann durch die Rüttelenergie und
das Gewicht der Glasplatte in dem zylindrischen Behälter ver-
dichtet. Mit einer Stoppuhr wird die Zeit vom Beginn der Vi-
bration bis zu dem Augenblick gemessen, bei dem die Glasplat-
te an der Unterseite vollständig mit Mörtel benetzt ist. Die-
se Zeit in Sekunden ist der Vebe-Wert.

Stichprobenartig wurde die Abwärtsbewegung der Glasplatte
mit einem induktiven Wegaufnehmer (x) gemessen und in Abhängig-
keit von der Vibrationszeit (t) mit einem Weg-Zeit-Schreiber
aufgezeichnet. An den so erhaltenen Vebe-Zeit-Kurven (siehe
Bild 4.1 u. 4.2) kann deutlich die Verformungszeit (Zusammen-
sinken des Kegelstumpfes) von der Verdichtungszeit unter-
schieden werden, wobei die Verdichtungszeit ein Mehrfaches der Ver-
formungszeit beträgt.

Es zeigte sich, daß der Vebe-Wert mit steigendem Mehlkorngel-
halt stark zunahm, während sich die dazugehörigen Vebe-Zeit-
Kurven nicht signifikant veränderten. Die Erklärung hierfür
ergibt sich aus der Tatsache, daß bei sehr steifem Beton

lange Vibrationszeiten erforderlich sind, um die letzten Luftblasen auszutreiben und die Glasplatte vollständig zu benetzen. Während dieser Zeit findet jedoch kaum noch eine Abwärtsbewegung der Glasplatte statt.

Da die aufzuwendende Rüttelenergie zur Erzielung eines bestimmten Verdichtungserfolges als Maß für die Verdichtungswilligkeit gelten kann und weil die Rüttelenergie proportional der Rüttelzeit ist, erscheint der Vebe-Test als gut brauchbar zur Messung der Verdichtungswilligkeit von Beton.

Der Vebe-Wert wurde unmittelbar nach dem Mischen und 30 Minuten später bestimmt.

4.3 Verdichtungsmaß

Das Verfahren ist nach DIN 1048 genormt. Gemessen wird die Volumenverminderung einer lose eingefüllten Betonprobe infolge Rüttelwirkung. Dabei soll solange gerüttelt werden, bis der Beton nach Augenschein vollständig verdichtet ist. Das Verfahren erlaubt nicht, die dazu erforderliche Rütteldauer hinreichend genau zu bestimmen. Deshalb kann das Verdichtungsmaß nur indirekt zur Beurteilung der Verdichtungswilligkeit herangezogen werden. Dabei nimmt die Brauchbarkeit des Verfahrens mit zunehmender Betonsteife ab, weil hierbei das Verdichtungsmaß einem Grenzwert von rd. 1,48 zustrebt.

4.4 Luftporengehalt

Straßenbetone müssen nach ZTV Beton 78 einen Luftporengehalt von 4% besitzen. Deshalb wurde den Versuchsbetonen ein Luftporenbildner in einer Dosierungsmenge von 0,05% vom Zementgewicht mit dem Anmachwasser zugegeben.

Der Luftporengehalt wurde 15 Minuten nach der Wasserzugabe mit dem Druckausgleichsverfahren nach DIN 1048 in zwei Töpfen gleichzeitig bestimmt. Der eine Topf wurde 30 s lang und der andere 60 s lang auf einem Rütteltisch verdichtet. Damit

sollte der Einfluß unterschiedlicher Rüttelzeiten auf die Frischbetonrohddichte und den LP-Gehalt studiert werden. Aus den Unterschieden sind Rückschlüsse auf die Verdichtungswilligkeit möglich.

4.5 Druckfestigkeit

Von allen Versuchsbetonen wurden jeweils drei Würfel mit 150 mm Kantenlänge hergestellt, auf einem Rütteltisch 60 s lang verdichtet und nach 28 Tagen auf Druckfestigkeit geprüft.

5. Untersuchungsergebnisse

5.1 Genauigkeit der Ergebnisse

Die Streuung der Versuchsergebnisse war trotz sorgfältigen labormäßigen Arbeitens groß, wie die Tabelle 5.1 am Beispiel der Ausgangsbetone zeigt.

T a b e l l e 5.1: Eigenschaften der Ausgangsbetone

	Prüfzeit	Einheit	Streubereich	Mittelwert
Vebe-Wert	o Min. 30 Min.	s	4,2 - 11,0 11,7 - 24,4	6,7 16,0
Verdichtungsmaß	o Min. 30 Min.	-	1,14 - 1,33 1,32 - 1,36	1,28 1,35
LP-Gehalt	15 Min.	Vol.-%	3,2 - 4,5	4,0
Luftporendifferenz $\Delta p = p(30) - p(60)$	15 Min.	Vol.-%	-0,2 - 1,0	0,5
Frischbetonroh- dichte $\rho_{b,h}$	15 Min.	kg/dm ³	2,36 - 2,41	2,38
Druckfestigkeit β_w	28 d	N/mm ²	48 - 65	55

Die Anzahl der Versuchsdaten der Ausgangsbetone allein ist für eine statistische Auswertung viel zu klein. Somit müssen auch die angegebenen Mittelwerte vorsichtig bewertet werden. Da die Anzahl der Versuchsdaten für die einzelnen Mehlkorndosierungsmengen noch kleiner ist, ist auf die Mittelwertbildung verzichtet worden. Statt dessen wurde für die Gesamtheit der Versuchsdaten einer Serie (Sand A oder B), für die eine gesetzmäßige Abhängigkeit vom Mehlkorngehalt zu erwarten war, Regressionsanalysen durchgeführt. Die sich dabei ergebenden Korrelationskoeffizienten zwischen 0,84 und 0,89 können als befriedigend angesehen werden. Sie deuten an, daß die gefundenen Zusammenhänge zwischen Mehlkornart und -menge und dem Verdichtungsaufwand von brauchbarer Genauigkeit sind. Die Versuchsergebnisse der einzelnen Mischungen sind dagegen weniger aussagekräftig.

5.2 Ergebnisse der Frischbetonuntersuchungen

Die Versuchsergebnisse sind in den Tabellen 5.2 bis 5.5 zusammengestellt. Die dort angegebenen Verdichtungsmaße und Vebe-Werte für 0 und 30 Minuten sind berechnete Werte, weil die Prüfungen nicht genau 0 bzw. 30 Minuten nach der Wasserzugabe durchgeführt werden konnten. Der Berechnung lag der in [5] gefundene, angenähert lineare Zusammenhang zwischen der Zeit und dem Ansteifen des Frischbetons zugrunde.

Für den LP-Gehalt, die Rohdichte und die Druckfestigkeit wurde eine statistische Auswertung durchgeführt, weil keine erkennbare Abhängigkeit von der Mehlkornmenge bestand.

5.2.1 Verdichtungsmaß

Die Verdichtungsmaße der einzelnen Versuchsbetone sind auf den Bildern 5.6 und 5.7 in Abhängigkeit von der Mehlkornmenge aufgetragen. Man sieht einerseits einen deutlichen Anstieg mit zunehmender Mehlkornmenge und andererseits eine abnehmende Streuung der Einzelwerte. Ebenso wird der Unterschied zwischen der Messung nach 0 und nach 30 Minuten immer

kleiner. Daraus ist zu schließen, daß der Verdichtungsversuch kaum zur Beurteilung der Verdichtungswilligkeit von sehr steifen Betonen geeignet ist.

Die Ergebnisse von Regressionsanalysen sind auf Bild 5.8 dargestellt. Die Streubereiche sind dort durch die Regressionskurven der Form $y = a + b \ln x$ für 0 bzw. 30 Minuten begrenzt. Die Kurven nähern sich asymptotisch einem Grenzwert, der für den Sand A bei 1,45 und für Sand B bei 1,48 liegt.

5.2.2 Vebe-Wert

Die Vebe-Werte der einzelnen Versuchsbetone sind auf den Bildern 5.9 und 5.10 dargestellt. Im Gegensatz zum Verdichtungsmaß nimmt hier die Streuung der Einzelwerte zu. Die Erklärung hierfür dürfte in einer verfahrensbedingten Zunahme der Prüfstreuung des Vebe-Gerätes bei langen Rüttelzeiten liegen. Unter anderem verschmiert die Glasscheibe des Gerätes im Laufe der Rüttelzeit, so daß der Zeitpunkt der vollständigen Benetzung mit Zementleim schwer zu bestimmen ist.

Die auf Bild 5.11 dargestellten Regressionskurven der Form $y = a e^{bx}$ mit Korrelationskoeffizienten $r = 0,84 - 0,86$ zeigen jedoch deutlich den monotonen Anstieg der Vebe-Werte in Abhängigkeit von der Mehlkornmenge. Wie aus der zunehmenden Breite der Streubereiche, die durch die Regressionskurven für 0 und 30 Minuten nach der Wasserzugabe begrenzt werden, zu erkennen ist, steifen die Betone mit hohen Mehlkornmengen auch schneller an.

Der Unterschied zwischen den beiden untersuchten Feinstsand A und B nimmt ebenfalls mit der Mehlkornmenge zu.

Strenggenommen ist ein Grenzwert der Mehlkornmenge, bei dessen Überschreitung eine Verdichtung des Betons nicht mehr möglich ist, nicht zu erkennen. Da ein Beton mit 600 kg/m^3 Mehlkorn (Sand B) die 5-fache Rüttelzeit und ein Beton mit

700 kg/m³ bereits die 14-fache Rüttelzeit des Ausgangsbetons mit 400 kg/m³ benötigt, wird deutlich, daß der vertretbaren Mehlkornmenge aus verdichtungstechnischen Gründen deutliche Grenzen gesetzt sind.

5.2.3 Luftporengehalt und Rohdichte

Wie aus den Tabellen 5.3 und 5.5 zu erkennen ist, streuten die gemessenen Luftporengehalte stark. Der Variationskoeffizient lag zwischen 10 und 18%. Bei Zunahme des Mehlkorngehalts von 400 auf 710 kg/m³ ist andeutungsweise eine Abnahme des LP-Gehalts von 4,0 auf rd. 3,5 Vol.-% zu erkennen (LP-Mittel-Dosierung unverändert).

Die Bestimmung des LP-Gehalts nach unterschiedlicher Vibrationszeit (30 und 60 s) ermöglichte keine Rückschlüsse auf die Verdichtungswilligkeit der Versuchsbetone, weil die Verdoppelung der Vibrationszeit in Einzelfällen sowohl eine Verkleinerung als auch eine Vergrößerung des LP-Gehalts ergab. Im Mittel ergab sich eine Luftporendifferenz von <0,1 %. Die Verdoppelung der Vibrationszeit bewirkte jedoch eine Zunahme der Frischbetonrohdsichte von i.M. 10 kg/m³ (Sand A) bzw. 30 kg/m³ (Sand B). Andeutungsweise ist eine Zunahme in der Rohdichtendifferenz mit steigendem Mehlkorngehalt zu erkennen. Eine Beurteilung der Verdichtungswilligkeit erscheint auch daraus jedoch nicht möglich.

5.3 Ergebnisse der Festbetonuntersuchungen

5.3.1 Rohdichte

Die Festbetonrohdsichte im Alter von 28 Tagen, bestimmt an Würfeln von 150 mm Kantenlänge, lag beim Sand A um 10 kg/m³ über der Frischbetonrohdsichte und beim Sand B um 10 kg/m³ unter der Frischbetonrohdsichte. Diese Differenzen liegen im zu erwartenden Streubereich. Auch die Festbetonrohdsichte scheint mit steigendem Mehlkorngehalt in der Tendenz geringfügig abzunehmen. Die Einzelwerte liegen jedoch noch im allgemeinen Streubereich, so daß angenommen werden kann, daß die gewählte Verdichtungsart (60 s Rütteltisch) auch bei einem Mehlkorngehalt von 710 kg/m³ eine ausreichende Verdichtung bewirkte.

5.3.2 Druckfestigkeit

Die Betondruckfestigkeit nach 28 Tagen, geprüft an Würfeln von 150 mm Kantenlänge, ist in den Tabellen 5.3 und 5.5 angegeben. Die Einzelwerte der Versuchsbetone sind auf den Bildern 5.12 und 5.13 in Abhängigkeit vom Mehlkorngehalt dargestellt. Ein Punkt steht für den Mittelwert von 3 Würfelprüfungen. Dort ist zu erkennen, daß der Mehlkorngehalt keinen signifikanten Einfluß auf die Druckfestigkeit ausübt. Die errechnete Standardabweichung von 4 N/mm^2 je Versuchsserie (s. Tabelle 5.3 und 5.5) ist von üblicher Größenordnung. Die Ergebnisse der Druckfestigkeitsprüfungen bestätigen die bereits aus der Rohdichte gezogenen Schlußfolgerungen, daß auch die sehr steifen Betone mit über 650 kg/m^3 Mehlkorn und einem Vebe-Wert über 50 s in der gewählten und allgemein üblichen Verdichtungszeit von 60 s i.a. ausreichend verdichtet werden.

6. Bewertung der Untersuchungsergebnisse

6.1 Einfluß der Feinstsandmenge auf die Verdichtungswilligkeit

Wie aus Bild 5.11 zu ersehen ist, steigt der Vebe-Wert und damit auch der Verdichtungsaufwand bei Erhöhung des Mehlkorngehalts bis auf rd. 600 kg/m^3 angenähert linear an. Somit kann der erforderliche Verdichtungsaufwand angenähert durch folgende Formel ausgedrückt werden:

$$v = 1 + C \frac{k - 400}{100} \quad (1)$$

Darin bedeuten:

v : Verdichtungsaufwand im Vergleich zu einem Ausgangsbeton mit dem nach DIN 1045 empfohlenen Mehlkorngehalt von 400 kg/m^3

k : Mehlkorngehalt in kg/m^3 , $400 \leq k \leq 600$

C : Konstante, welche die Kornverteilung und die Kornform des Feinstsandbes berücksichtigt,
Sand A: $C = 1$, Sand B: $C = 2$.

Die Werte für C ergaben sich aus den Versuchsergebnissen. Der Formel (1) liegt der Ersatz der Regressionskurven von Bild 5.11 durch Geraden zugrunde.

Oberhalb von 600 kg/m^3 Mehlkornmenge ist mit einem progressiven Ansteigen des Verdichtungsaufwandes zu rechnen. Die Herstellung einer gleichmäßigen Betonqualität wird dann schwierig.

Eine Auswertung der Formel (1) für die Sande A und B zeigt die Tabelle 6.1. Es kann davon ausgegangen werden, daß die meisten deutschen Sande hinsichtlich ihres Einflusses auf die Verdichtungswilligkeit zwischen den Sanden A und B einzuordnen sind.

T a b e l l e 6.1: Verdichtungsaufwand V in Abhängigkeit vom Mehlkorngehalt k , $V(k = 400) = 1$

	Mehlkorngelalt k in kg/m^3				
	400	450	500	550	600
Sand A	1	1,5	2,0	2,5	3,0
Sand B	1	2,0	3,0	4,0	5,0

6.2 Einfluß der Feinstsandart auf die Verdichtungswilligkeit

Da die beiden Sande A und B die gleiche Kornform und nur unwesentliche petrografische Unterschiede besaßen, dürften die beobachteten unterschiedlichen Vebe-Werte und Verdichtungsmaße im wesentlichen auf die Kornverteilung zurückzuführen sein. Die Verdichtungswilligkeit von Beton hängt bekanntlich mit dem Wasseranspruch eng zusammen. Dieser wird wiederum durch die zu benetzende Oberfläche bestimmt. Die Feinstsande A und B besitzen angenähert dieselbe spezifische Oberfläche. Der Anteil $< 0,090$ ist mit 18% beim Sand B rd. dreimal so hoch wie beim Sand A. Damit ist jedoch der Anteil von zementfeinem Korn und somit auch die spezifische Oberfläche beider Sande im Vergleich zum Zement klein. Da die Versuche für den Faktor C in Formel (1) für den Sand A einen Wert von 1 und für den Sand B einen Wert von 2 lieferten, ist anzunehmen, daß der Verdichtungsaufwand im wesentlichen von der Menge des zementfeinen Korns im Zuschlag abhängt.

Weiter liegt der Schluß nahe, daß die Zementmenge von größerem Einfluß auf die Verdichtungswilligkeit ist als die Kornverteilung des Feinstsand.

7. Zusammenfassung

Der Einfluß der Feinstsandmenge auf die Verdichtungswilligkeit von Beton wurde an insgesamt 47 Versuchsbetonen studiert. Dabei hat sich der Vebe-Test zur Messung der erforderlichen Verdichtungsarbeit bewährt. Es zeigte sich, daß der Verdichtungsaufwand bei einer Mehlkornmenge von 400 - 600 kg/m³ bei einem Zementgehalt von 340 kg/m³ angenähert linear ansteigt. Oberhalb von 600 kg/m³ Mehlkorn erfolgt eine stark progressive Zunahme des Verdichtungsaufwandes. Der Anstieg erfolgt umso steiler, je feinkornreicher der Feinstsand ist. Der Verdichtungsaufwand eines Straßenbetons mit 600 kg/m³ Mehlkorn beträgt das 3-5-fache eines sonst gleichartigen Betons mit nur 400 kg/m³ Mehlkorn. Aufgrund der Versuchsergebnisse ist eine Anhebung des zulässigen Mehlkorngehalts in den Vorschriften hinsichtlich der Verdichtbarkeit nur bis auf 600 kg/m³ vertretbar.

Höhere Mehlkorngehalte können aus dem zufälligen Unter- oder Überschreiten der optimalen bzw. erforderlichen Rüttelzeiten zu unterschiedlicher Verdichtung und damit unterschiedlicher Qualität auch der Oberfläche führen.

Schrifttum

- 1 Jurecka, W. und E. Vluchakis: Vergleichende Untersuchungen über Straßenbeton unter Änderung der Kornzusammensetzung im Feinsandbereich und Verdichtung durch Oberflächenrüttler
Straßenbau und Straßenverkehrstechnik 1966, Heft 48
- 2 Rostásy, F.S. und E.H. Ranisch: Untersuchungen über den Einfluß der Feinstsandanteile auf die Verdichtungs-
willigkeit von Beton (Gummibeton)
Sachstandsbericht zum BMV-Forschungsauftrag Nr. 8.042
Juni 1978 (unveröffentlicht)
- 3 Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für
den Bau von Fahrbahndecken aus Beton - ZTV Beton 78 -
- 4 Losinger, R.: Die Messung der Verarbeitbarkeit von
Frischbeton
Promotion Nr. 2476, ETH Zürich 1956
- 5 Rostásy, F.S. und E.H. Ranisch: Untersuchungen der Eigenschaften von Fließbeton für den Straßen- und Wegebau. BMV-Forschungsauftrag Nr. 8.043
Abschlußbericht Oktober 1979

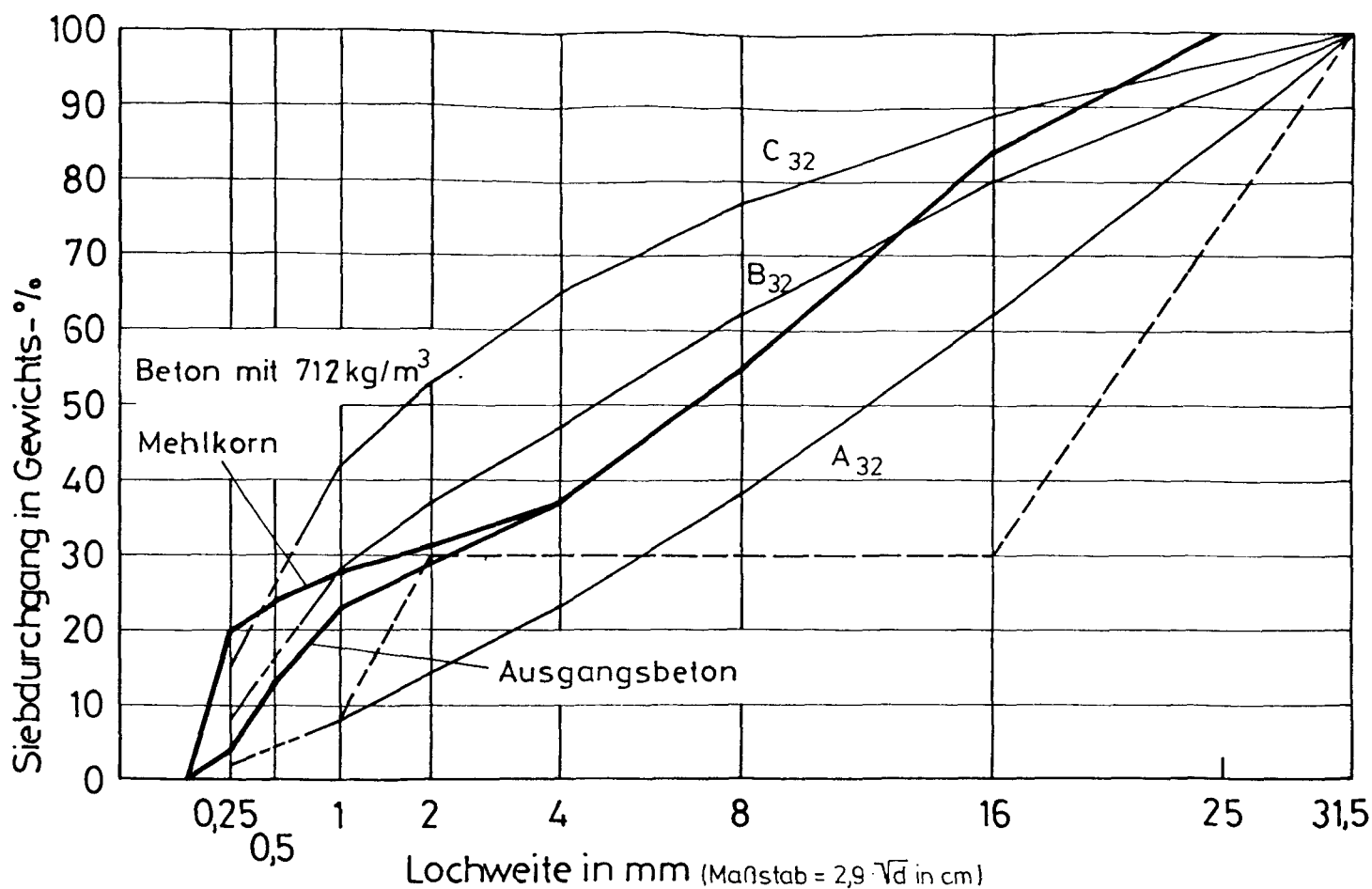


Bild 3.1: Sieblinie der Zuschläge

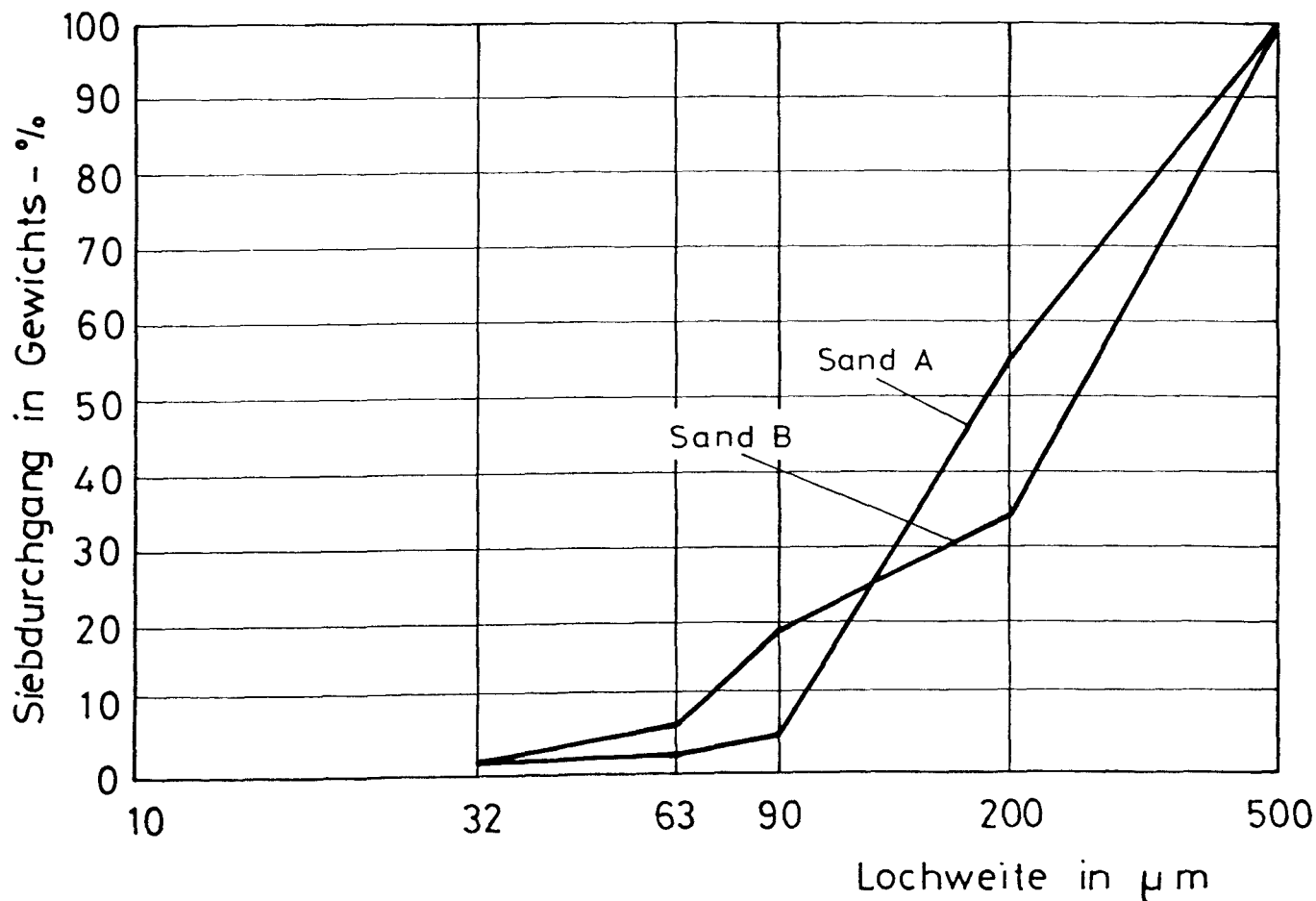


Bild 3.2: Sieblinien der Feinstsande

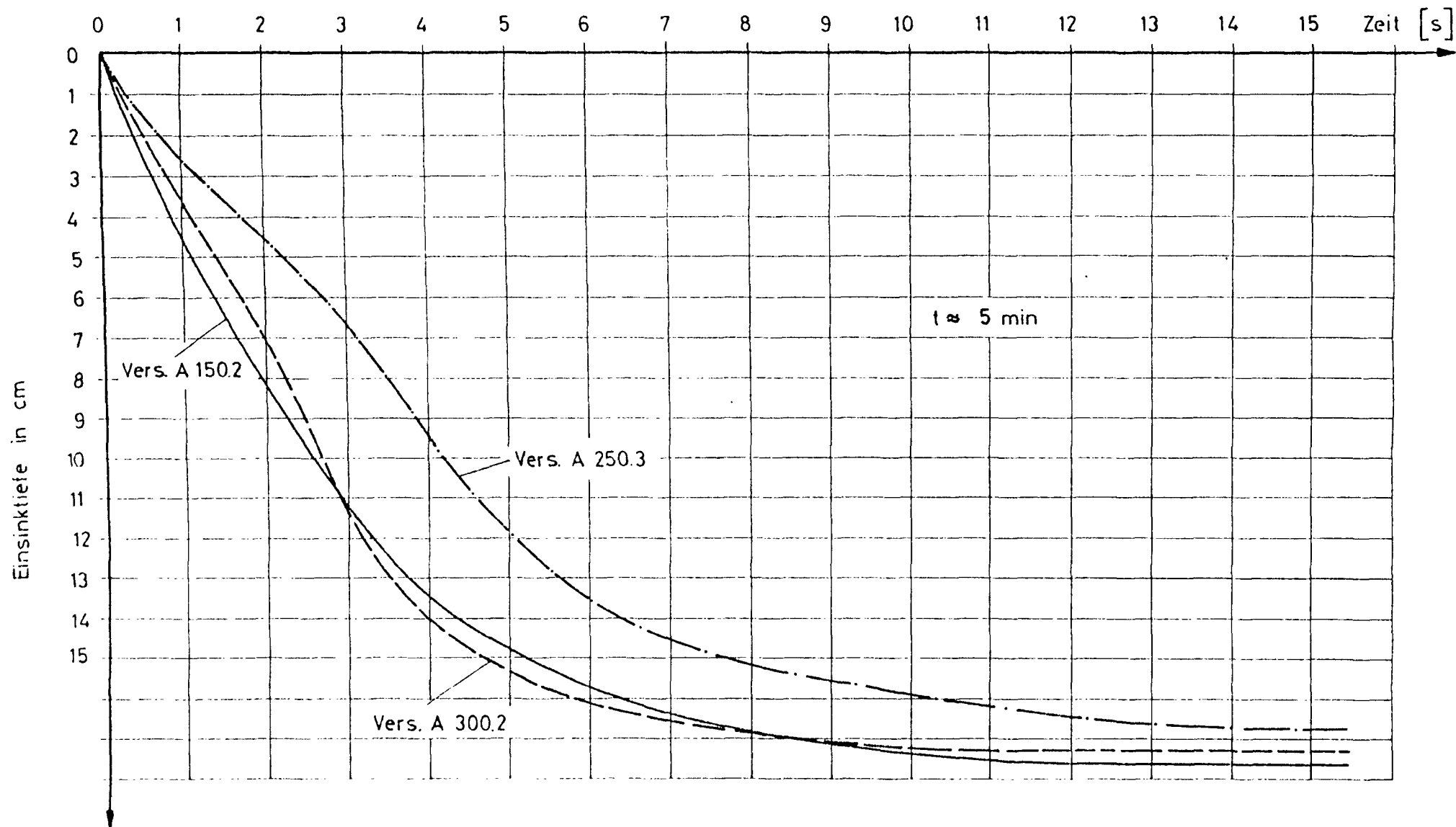


Bild 4.1 Vebe - Zeit - Kurven

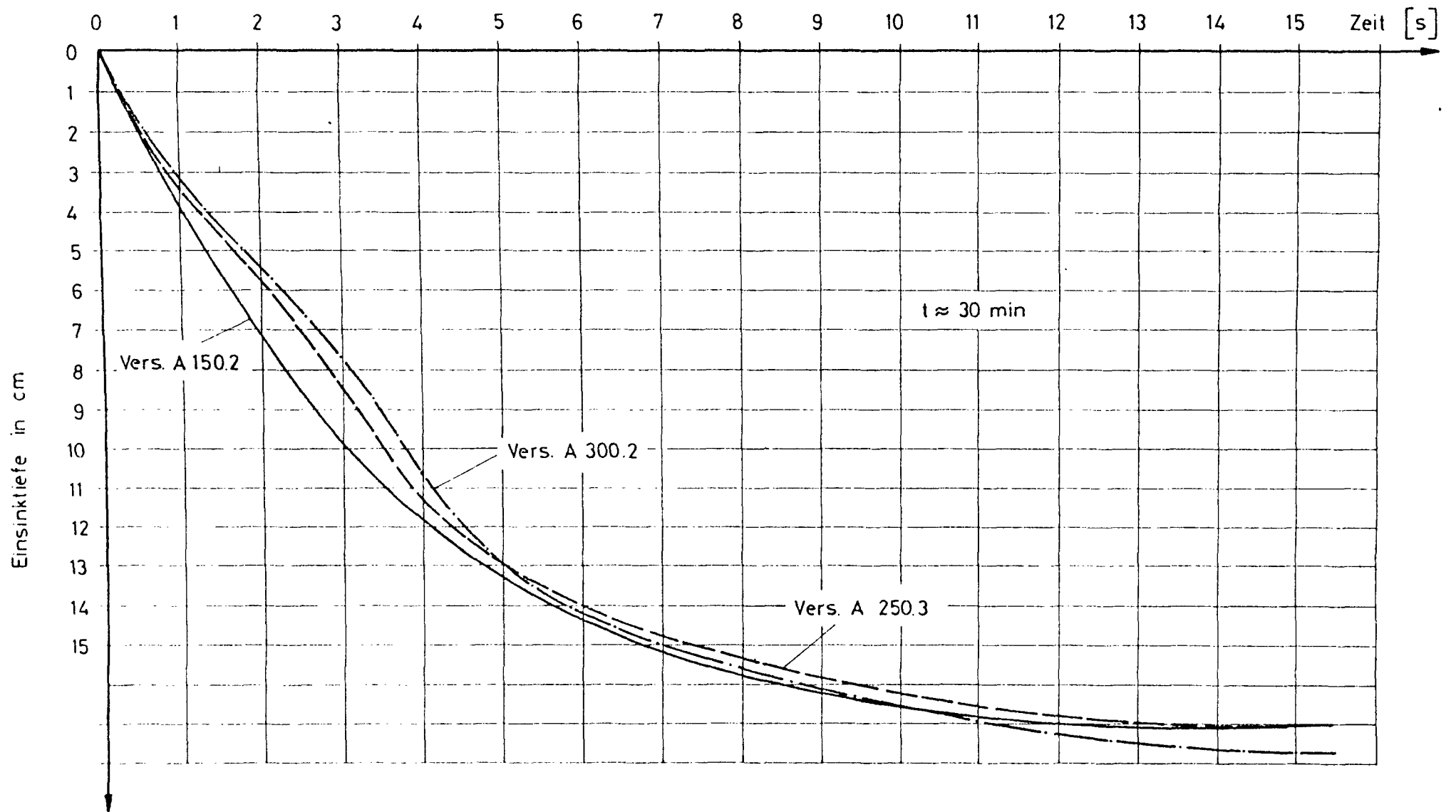


Bild 4.2 Vebe - Zeit - Kurven

T a b e l l e 5.2:

Ergebnisse der Frischbetonuntersuchungen

- Versuchsbetone mit Feinstsand A -

Vers.-Nr.	Feinstsand- anteil	Mehlkorn- menge kg/m ³	Vebe-Wert ¹⁾		Verdichtungsmaß ¹⁾	
			o Min.	3o Min.	o Min.	3o Min.
AN 1	o	400	4,2	13,3	1,24	1,34
AN 2	o	400	4,3	12,4	1,26	1,32
AN 3	o	400	7,8	11,7	1,28	1,36
A 50 1	50	443	7,9	15,3	1,29	1,38
A 100 2	100	488	13,6	22,7	1,31	1,36
A 100 3	100	488	21,1	29,1	1,36	1,42
A 150 1	150	533	8,5	15,5	1,31	1,35
A 150 2	150	533	19,1	29,6	1,39	1,42
A 150 3	150	533	11,8	22,7	1,37	1,40
A 200 2	200	577	13,9	35,7	1,36	1,38
A 200 3	200	577	8,9	17,4	1,32	1,38
A 200 4	200	577	13,3	48,9	1,38	1,42
A 250 1	250	622	19,8	38,2	1,39	1,44
A 250 2	250	622	24,8	37,8	1,42	1,44
A 250 3	250	622	46,2	56,0	1,40	1,43
A 250 4	250	622	28,1	31,7	1,37	1,41
A 250 5	250	622	15,3	27,4	1,40	1,43
A 275 1	275	645	41,0	53,0	1,38	1,42
A 300 1	300	667	24,8	39,1	1,42	1,42
A 300 2	300	667	41	53	1,42	1,43
A 300 3	300	667	19,3	63,9	1,43	1,44
A 350 1	350	712	64,6	105	1,41	1,44
A 350 2	350	712	69,0	80	1,43	1,44

1) Zeit nach der Wasserzugabe (berechnete Werte)

T a b e l l e 5.3:

Luftporengehalt, Rohdichte und Druckfestigkeit

- Versuchsbetone mit Feinstsand A -

Vers.-Nr.	LP-Gehalt ¹⁾		Rohdichte ¹⁾			Druckfestig- keit β_{w28}
	p (30)	p (60)	$\rho_{b,h}$ (30)	$\rho_{b,h}$ (60)	ρ_b	
-	Vol.-%	Vol.-%	kg/dm ³	kg/dm ³	kg/dm ³	N/mm ²
AN 1	5,3	4,3	2,34	2,37	2,39	52
AN 2	5,5	4,5	2,32	2,36	2,38	48
AN 3	4,2	3,8	2,37	2,38	2,42	57
A 50 1	4,1	4,3	2,35	2,38	2,40	57
A 100 1	4,0	4,0	2,40	2,38	-	
A 100 2	3,4	3,8	2,39	2,39	2,41	58
A 100 3	4,0	3,8	2,37	2,38	2,38	64
A 150 1	4,1	4,2	2,34	2,35	-	-
A 150 2	3,0	3,9	2,38	2,39	2,40	57
A 150 3	4,3	4,0	2,35	2,36	2,38	53
A 200 1	3,8	4,1	2,38	2,38	-	-
A 200 2	3,7	4,1	2,36	2,36	2,39	58
A 200 3	3,6	3,9	2,36	2,37	2,38	64
A 250 1	3,5	4,2	2,36	2,36	-	
A 250 2	3,5	3,3	2,35	2,38	-	
A 250 3	2,8	3,2	2,37	2,39	2,36	52
A 250 4	4,3	4,0	2,35	2,38	2,39	58
A 250 5	3,8	3,6	2,36	2,38	2,37	64
A 275 1	3,6	3,8	2,34	2,38	2,38	59
A 300 1	3,0	3,4	2,36	2,37		
A 300 2	2,7	3,2	2,36	2,38	2,37	56
A 300 3	3,7	3,9	2,35	2,37	2,37	59
A 350 1	3,3	3,4	2,33	2,36	2,36	62
A 350 2	3,2	3,4	2,35	2,35	2,36	59
Mittel	3,8	3,8	2,36	2,37	2,38	58
Streuung	0,7	0,4	0,02	0,01	0,02	4
Variations- koeffizient	18%	10%	1%	0,5%	1%	8%

1) Die Zahl in Klammern gibt die Rüttelzeit an

T a b e l l e 5.4:

Ergebnisse der Frischbetonuntersuchungen

- Versuchsbetone mit Feinstsand B -

Vers.-Nr.	Feinstsand- anteil	Mehlkorn- menge kg/m ³	Vebe-Wert ¹⁾		Verdichtungsmaß ¹⁾	
			o Min.	3o Min.	o Min.	3o Min.
BN 1	o	400	10,96	18,14	1,33	1,37
BN 2	o	400	6,28	24,39	1,30	1,35
B 50 1	50	443	17,70	32,97	1,39	1,44
B 50 2	50	443	13,80	15,3	1,32	1,37
B 50 3	50	443	12,04	24,6	1,34	1,39
B 100 1	100	488	12,57	17,66	1,37	1,39
B 100 2	100	488	8,16	21,55	1,37	1,42
B 100 3	100	488	14,11	18,41	1,33	1,39
B 150 1	150	533	36,38	45,21	1,44	1,44
B 150 2	150	533	29,57	35,79	1,43	1,44
B 150 3	150	533	58,78	62,89	1,42	1,43
B 200 1	200	577	19,08	25,83	1,43	1,45
B 200 2	200	577	20,19	39,89	1,41	1,45
B 200 3	200	577	92,12	92,0	1,44	1,45
B 200 4	200	577	46,85	50,99	1,44	1,45
B 250 1	250	622	33,74	41,06	1,44	1,45
B 250 2	250	622	39,91	54,60	1,43	1,44
B 250 3	250	622	75,92	82,82	1,44	1,45
B 300 1	300	667	23,25	68,02	1,45	1,45
B 300 2	300	667	29,86	60,08	1,44	1,45
B 300 3	300	667	99,23	103,44	1,42	1,44
B 300 4	300	667	129,29	184,33	1,42	1,44
B 350 1	350	712	55,22	55,85	1,48	1,48
B 350 2	350	712	119,61	160,72	1,44	1,45

1) Zeit nach der Wasserzugabe (berechnete Werte)

T a b e l l e 5.5:

Luftporengehalt, Rohdichte und Druckfestigkeit

- Versuchsbetone mit Feinstsand B -

Vers.-Nr.	LP-Gehalt ¹⁾		Rohdichte ¹⁾			Druckfestig- keit β_{w28}
	p (30)	p (60)	$\rho_{b,h}$ (30)	$\rho_{b,h}$ (60)	ρ_b	
-	Vol.-%	Vol.-%	kg/dm ³	kg/dm ³	kg/dm ³	N/mm ²
BN 1	3,5	3,2	2,39	2,41	2,41	65
BN 2	4,0	4,2	2,353	2,37	2,39	55
B 50 1	3,3	3,2	2,386	2,406	2,39	59
B 50 2	4,0	4,1	2,358	2,381	2,39	53
B 50 3	3,8	3,0	2,365	2,40	2,39	59
B 100 1	4,0	3,8	2,355	2,390	2,38	59
B 100 2	3,8	3,8	2,366	2,892	2,39	59
B 100 3	4,4	3,4	2,360	2,388	2,39	56
B 150 1	3,3	3,4	2,373	2,391	2,39	57
B 150 2	3,8	4,0	2,37	2,37	2,37	56
B 150 3	3,5	3,6	2,324	2,383	2,36	56
B 200 1	4,1	4,0	2,36	2,88	2,37	55
B 200 2	3,3	3,5	2,343	2,373	2,36	57
B 200 3	3,7	3,3	2,344	2,380	2,39	60
B 200 4	4,2	3,4	2,336	2,364	2,38	-
B 250 1	3,4	3,5	2,344	2,37	2,35	53
B 250 2	3,3	3,1	2,366	2,38	2,37	58
B 250 3	3,4	3,2	2,336	2,373	2,35	59
B 300 1	2,5	3,2	2,325	2,35	2,35	56
B 300 2	3,3	3,0	2,334	2,369	2,36	54
B 300 3	2,7	2,6	2,324	2,379	2,38	59
B 300 4	3,2	3,0	2,341	2,353	2,33	51
B 350 1	3,1	4,1	2,33	2,37	2,36	48
B 350 2	3,4	3,0	2,319	2,351	2,33	53
Mittel	3,5	3,4	2,35	2,38	2,37	56
Streuung	0,5	0,4	0,02	0,02	0,02	4
Variations- koeffizient	13%	13%	1%	0,5%	1%	6%

1) die Zahl in Klammern gibt die Rüttelzeit in s an

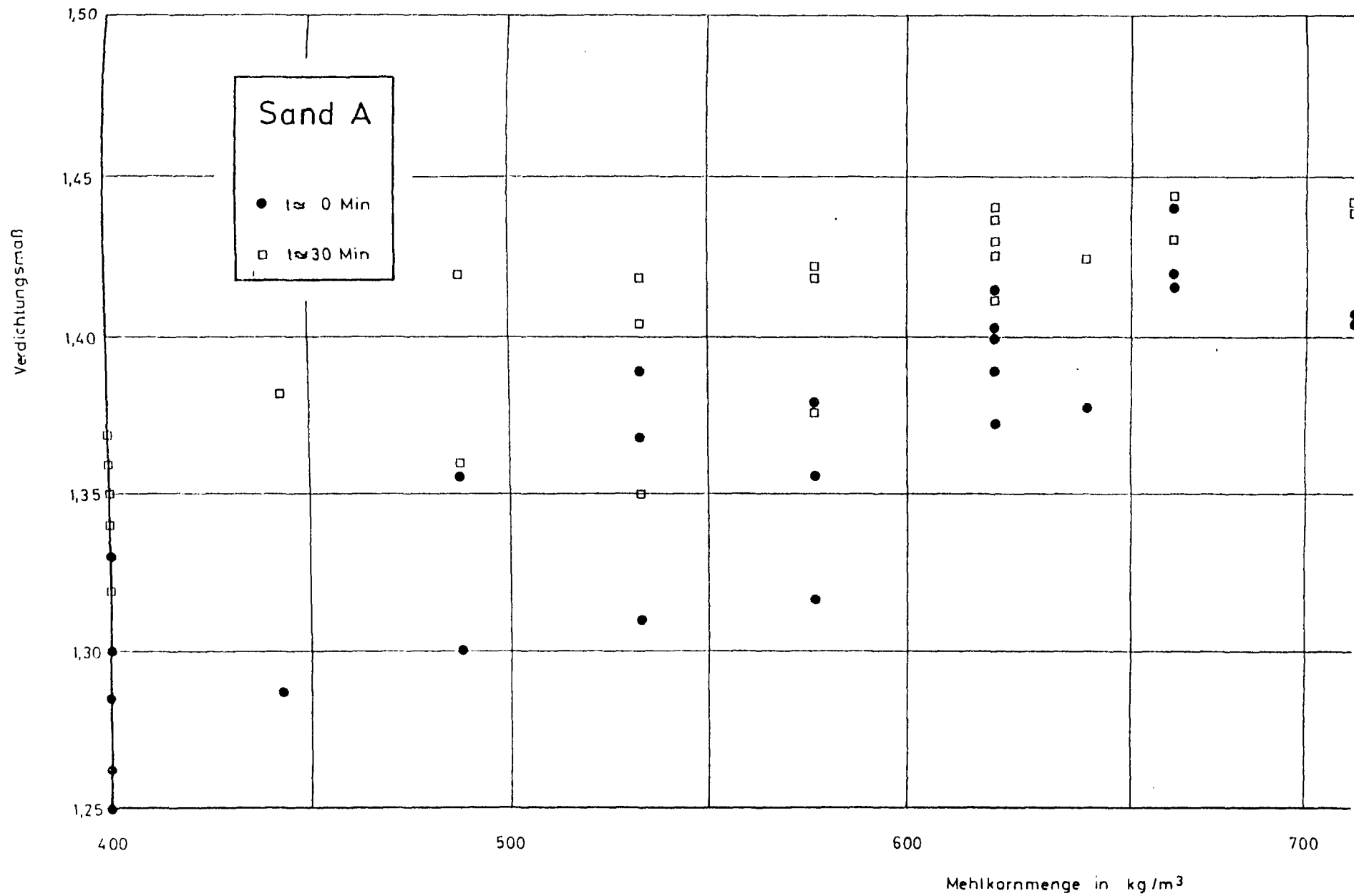


Bild 5.6 Verdichtungsmaß als Funktion der Mehlkornmenge - Sand A

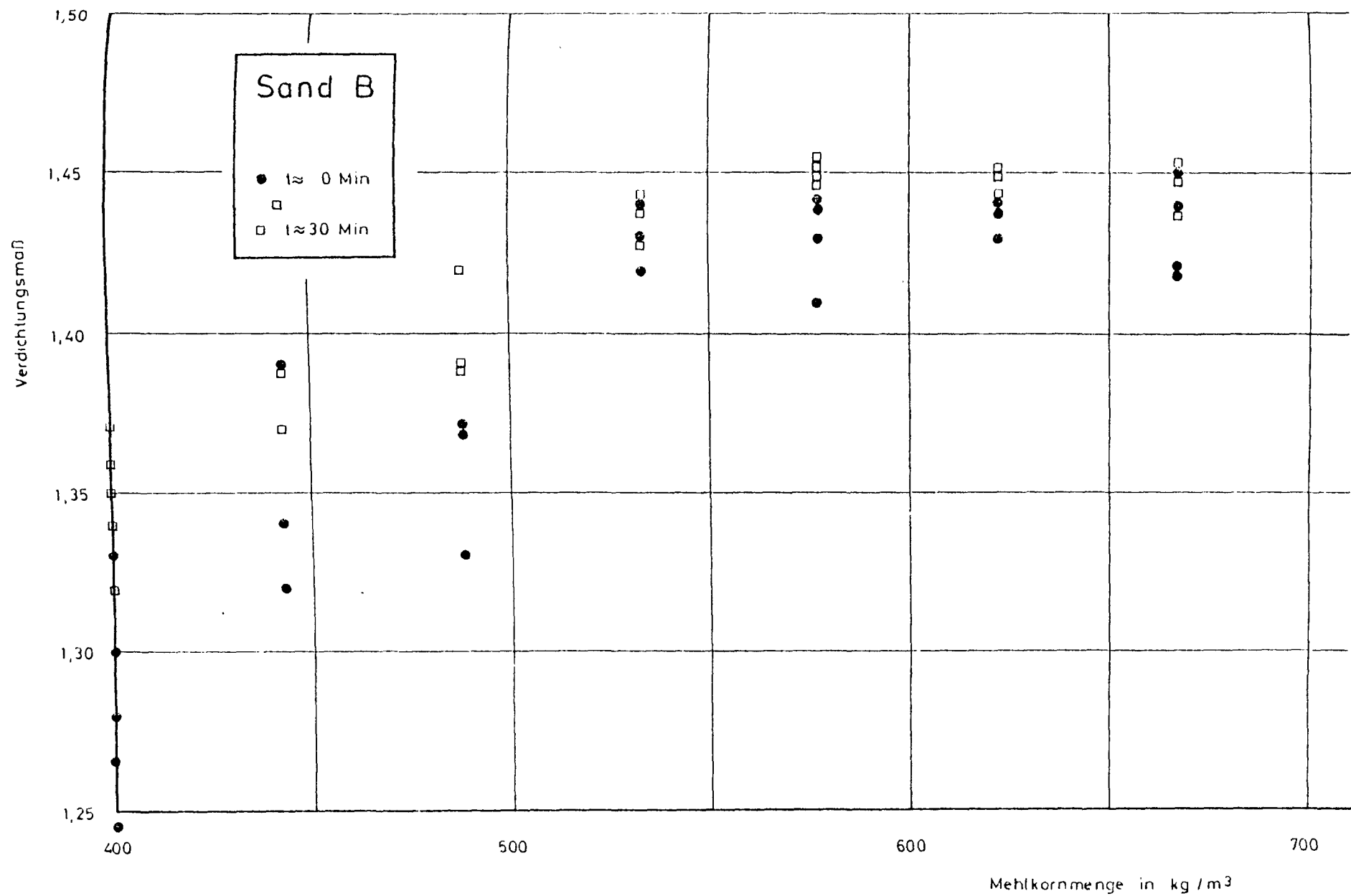


Bild 5.7 Verdichtungsmaß als Funktion der Mehlkornmenge - Sand B

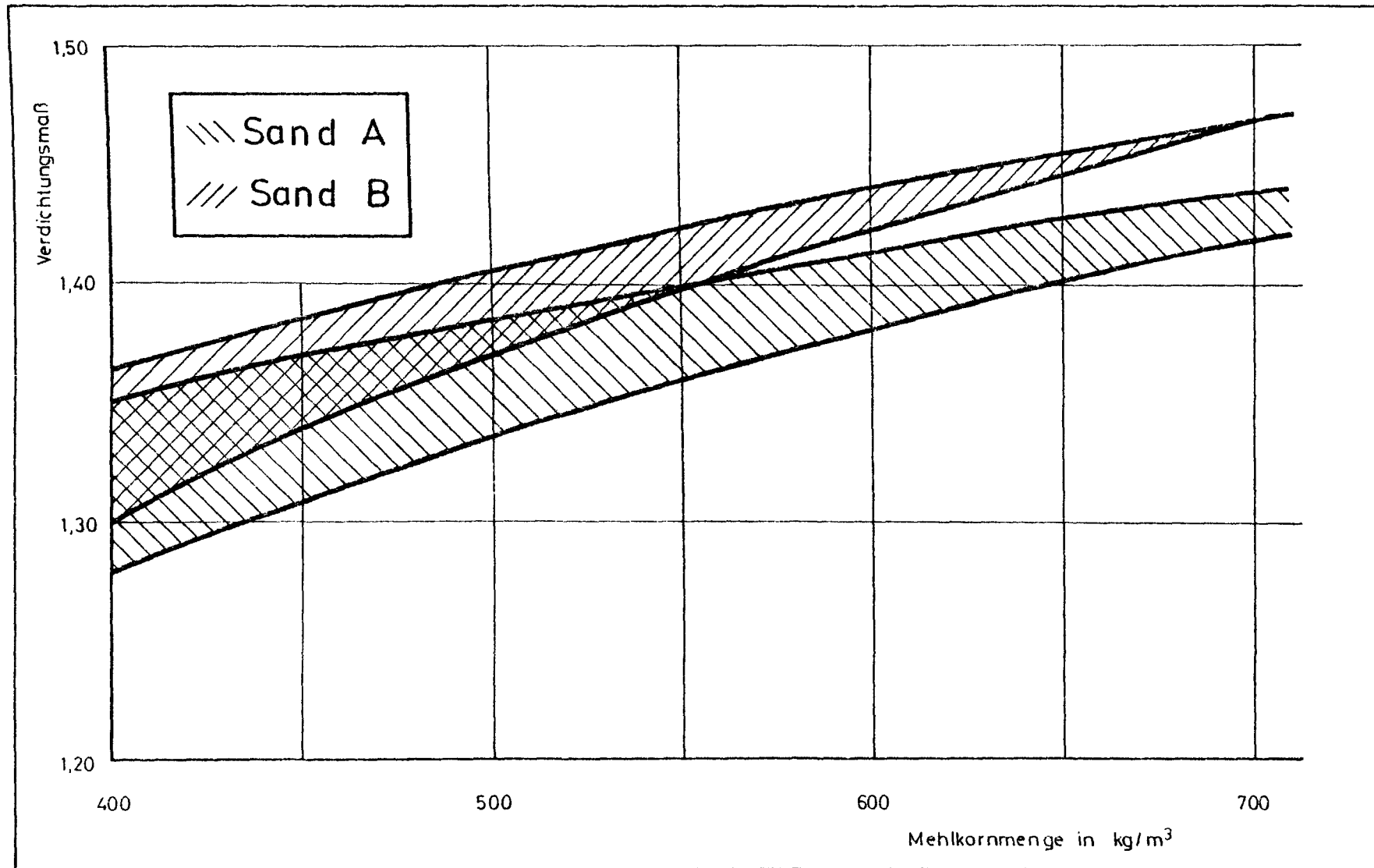


Bild 5.8 Ergebnis der Regressionsanalysen

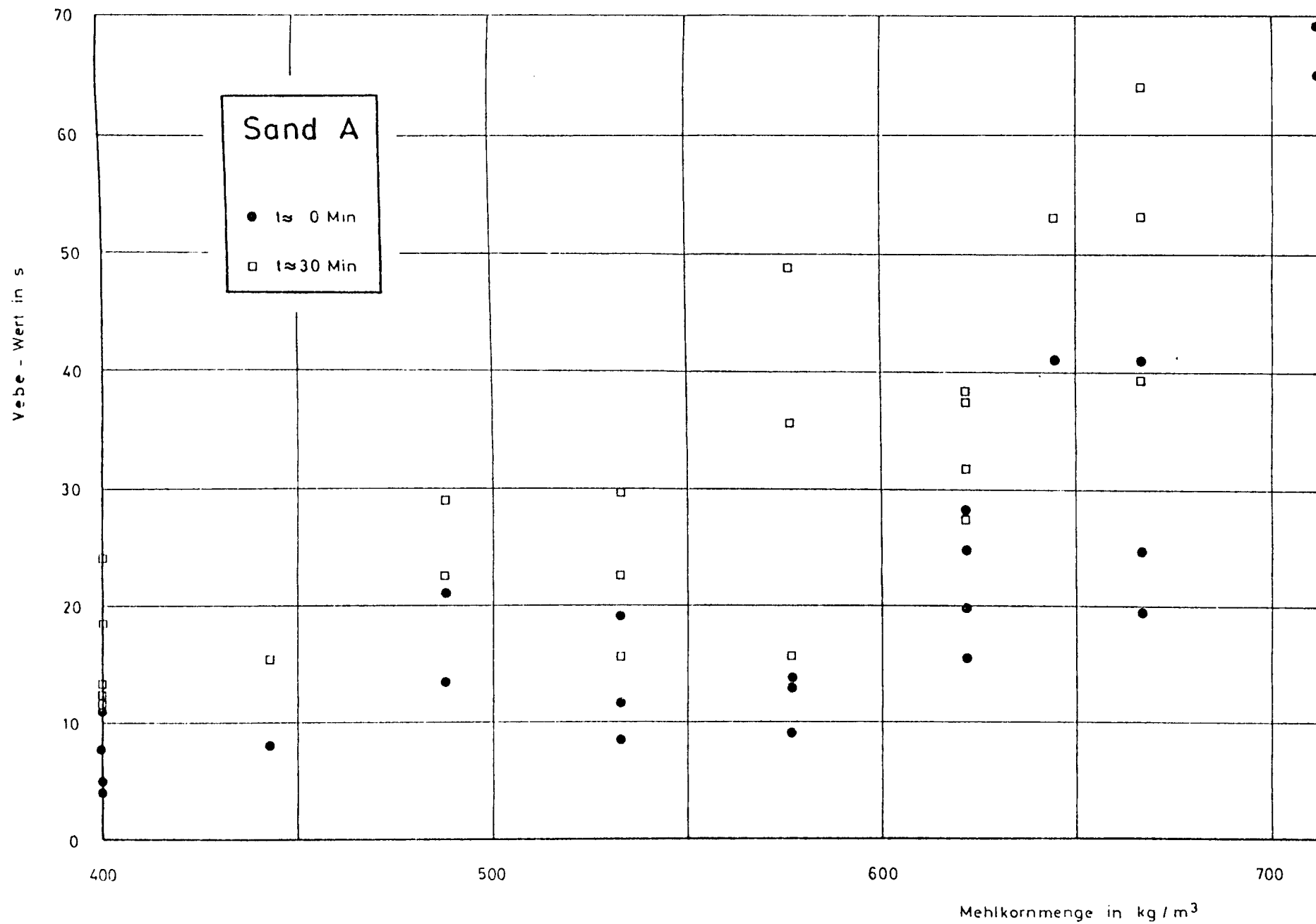


Bild 5.9 Vebe - Wert als Funktion der Mehlkornmenge - Sand A

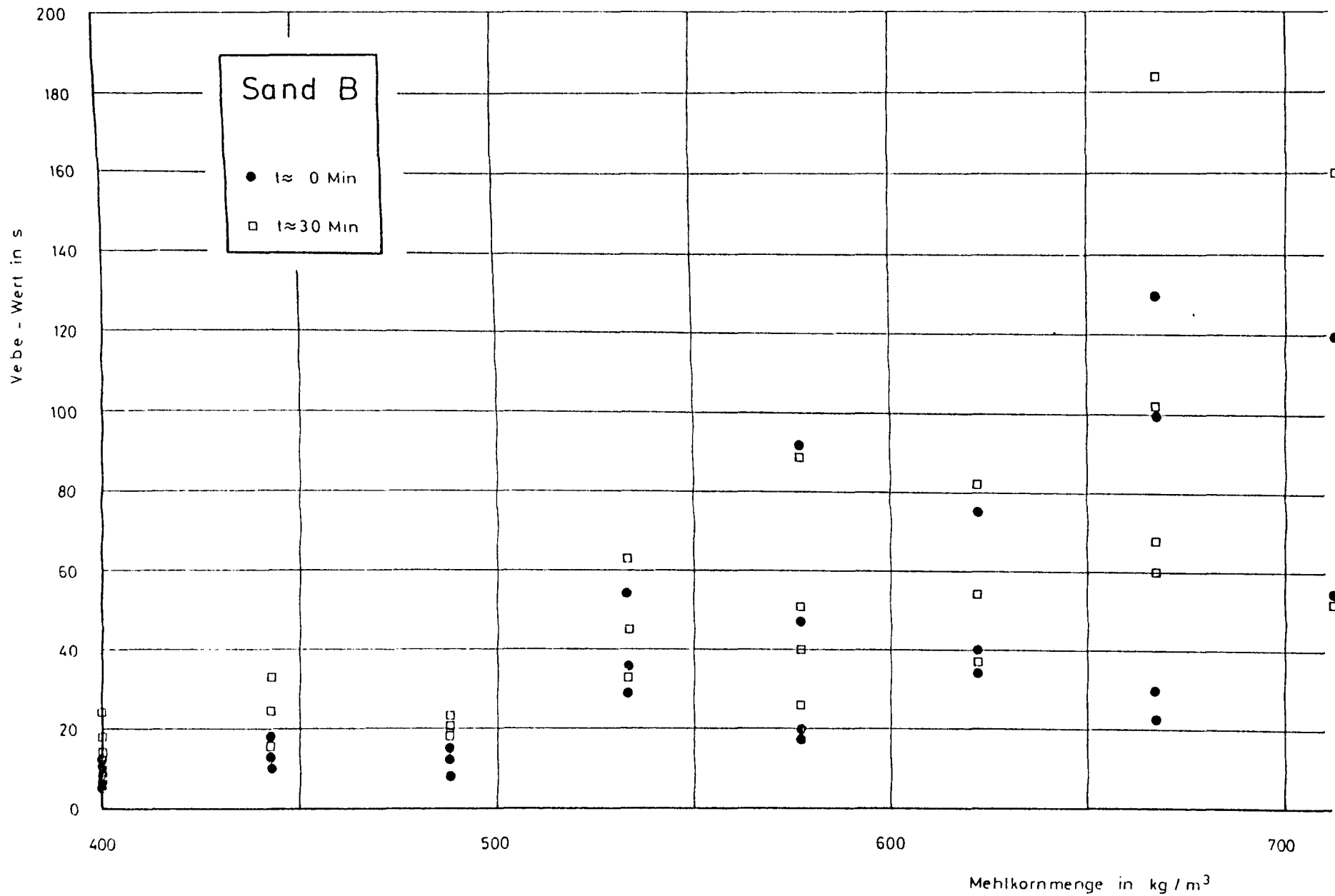


Bild 5.10 Vebe - Wert als Funktion der Mehlkornmenge - Sand B

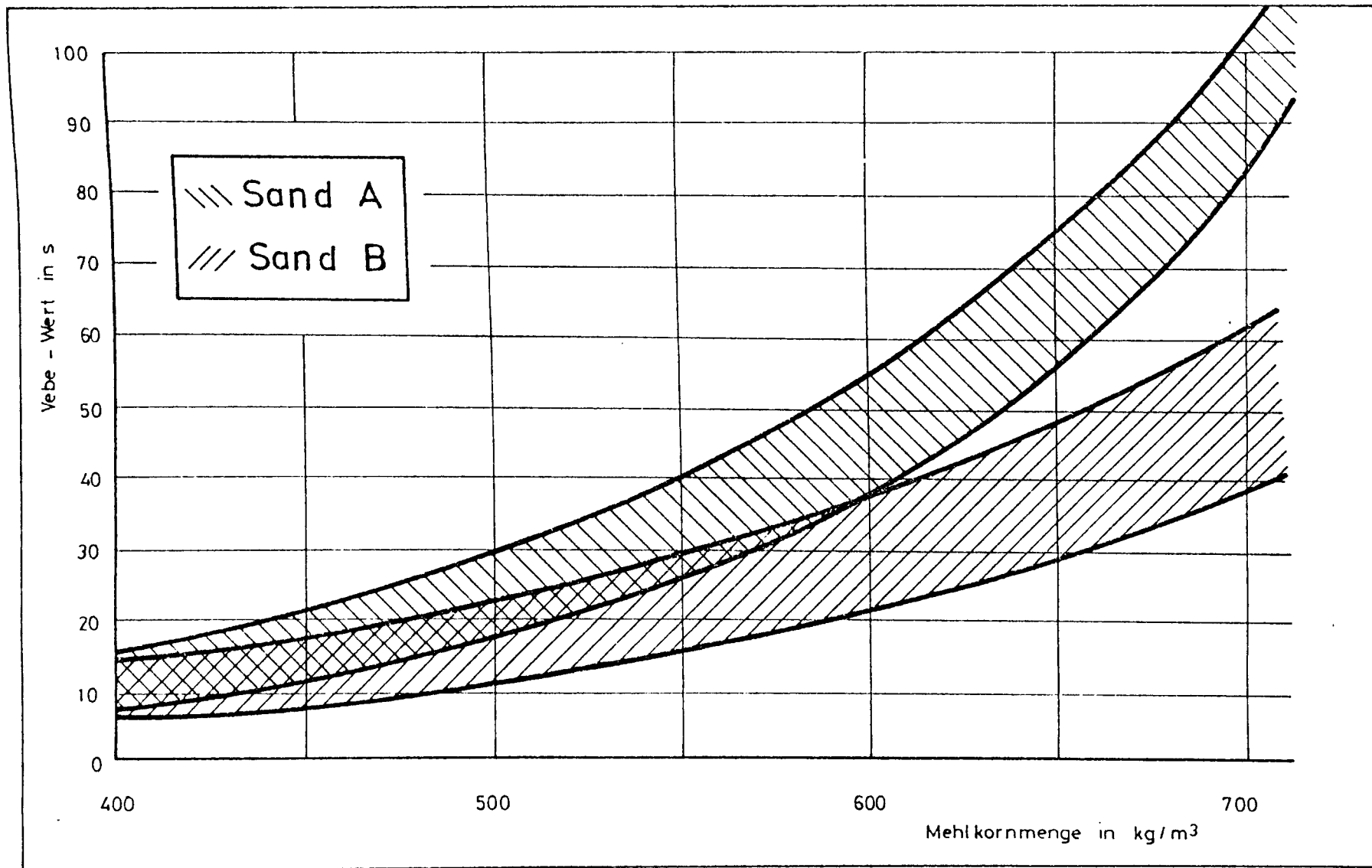


Bild 5.11 Ergebnis der Regressionsanalysen

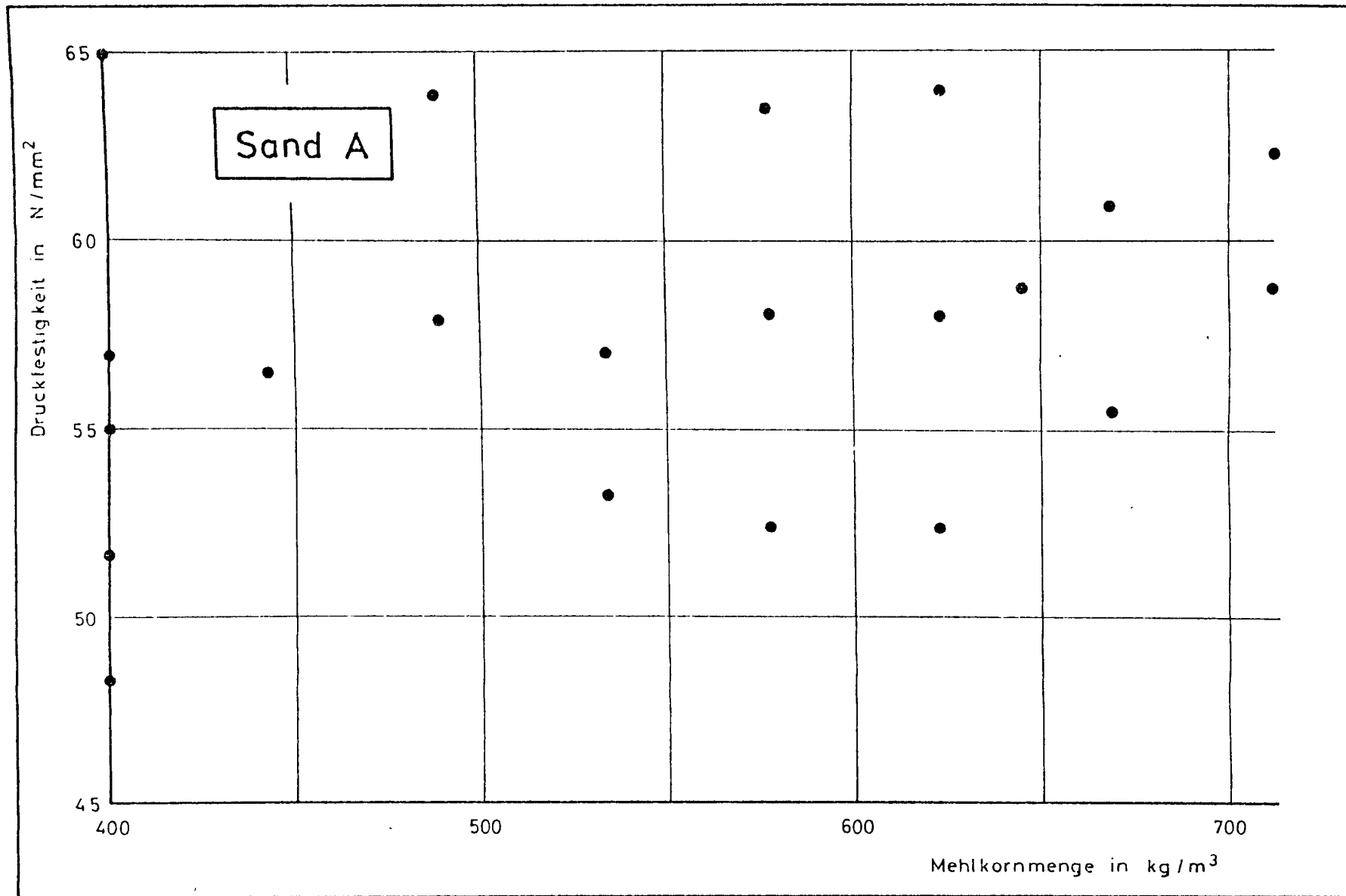


Bild 5.12 Druckfestigkeit als Funktion der Mehlkornmenge

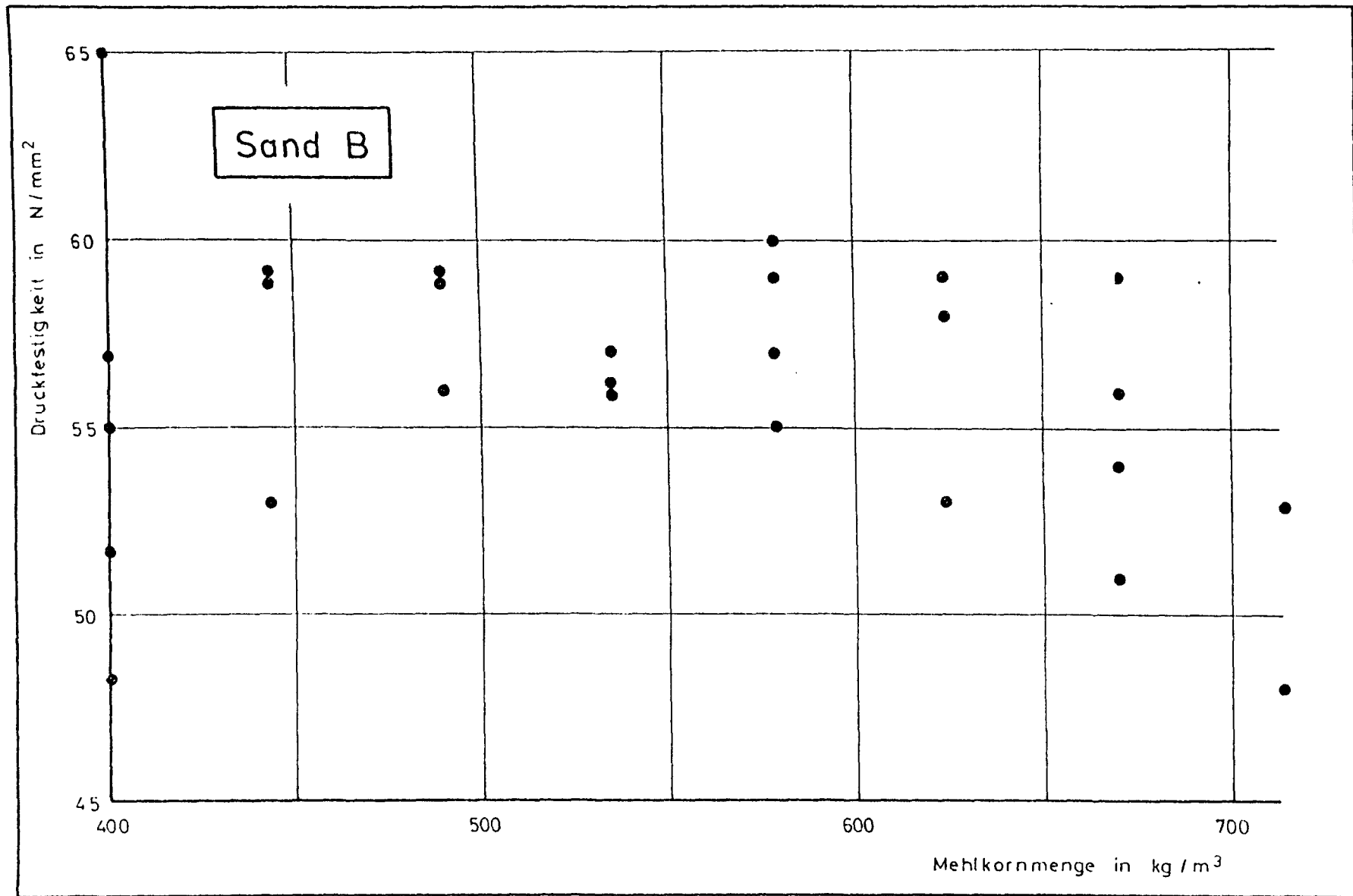


Bild 5.13 Druckfestigkeit als Funktion der Mehlkornmenge

INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG
AMTLICHE MATERIALPRÜFANSTALT FÜR DAS BAUWESEN
DIREKTOREN: PROF.DR.-ING.K.KORDINA · PROF.DR.-ING.F.S.ROSTÁSY

F.A.-Nr. 8042 G 77 A: "Untersuchungen über den Einfluß der Feinstsandanteile auf die Verdichtungswilligkeit von Beton (Gummibeton)".

Az.: St B 14/16.57.40/15 608 T 76

Sachstandsbericht

1. Problemstellung

Der Begriff "Gummibeton" wurde wahrscheinlich Ende der 50-er Jahre von Oberingenieur Hauser von den ABG-Werken geprägt. Hauser verstand darunter einen Straßenbeton, der noch in einer Entfernung von ca. 60-70 cm hinter der Glättbohle federnd bewegt wird und eine bestimmte Restwelligkeit behält. Durch diese nachteilige Frischbetoneigenschaft ergaben sich große Schwierigkeiten hinsichtlich der Erzielung einer befriedigenden Fahrbannebenheit.

In der Literatur taucht der Begriff "Gummibeton" erstmals 1961 auf [7]. Dort werden als Ursachen für Gummibeton ungeeignete Zemente, puzzolanische Zusatzstoffe und ungünstige Sieblinien der Zuschlagstoffe vermutet.

Die Frage nach den Ursachen des Gummibetons sollte dann auch durch das Forschungsvorhaben "Vergleichende Untersuchungen über Straßenbeton unter Änderung der Kornzusammensetzung im Feinsandbereich und Verdichtung durch Oberflächenrüttler" [11] beantwortet werden.

- 2 -

Jurecka und Vluchakis stellten darin zwar fest, daß Beton-zusammensetzungen mit einem Mehlkorngehalt von mehr als 400 kg/m^3 oft schlechte Betonoberflächen ergeben. Ein optimaler Mehlkorngehalt sollte jedoch im Einzelfall durch eine Eignungsprüfung bestimmt werden. Eine Erklärung für das Phänomen "Gummibeton" konnte noch nicht gegeben werden.

In den darauffolgenden Jahren traten infolgedessen auch bei einigen Straßenbaustellen gelegentlich noch Schwierigkeiten mit der maschinellen Betonverdichtung auf. Deshalb stellten wir im Jahre 1973 erstmals den Forschungsantrag "Gummibeton". Damit sollte der Vermutung nachgegangen werden, ob jene federnde Kompressibilität des Frischbetons primär durch lufthaltende Sandanteile mit einem Korndurchmesser kleiner als 3 mm zusammen mit den durch LP-Mittel zusätzlich eingebrachten Luftporen verursacht wird. Es war beabsichtigt, mit einem einfachen Prüfverfahren die in den Feinstsanden enthaltenen, natürlichen Luftporen zu bestimmen, damit vor der Verwendung der Sande abgeschätzt werden kann, ob der später hiermit hergestellte Frischbeton den beobachteten Federeffekt haben wird oder nicht.

Das Forschungsvorhaben wird vom Bundesminister für Verkehr in dankenswerter Weise finanziell gefördert. Wir bedanken uns außerdem bei Herrn Dr.-Ing. Löwenberg, Herrn Prof. Dr. techn. Springenschmid, Herrn Dipl.-Ing. Rabenau und Herrn Dipl.-Ing. Reimer für Unterstützung und Beratung.

2. Literaturstudium

Es wurde zunächst ein Literaturstudium mit zwei Schwerpunkten begonnen:

1. Einflüsse auf die Verarbeitbarkeit von Frischbeton,
2. Ebenheit von Betonfahrbahnen.

Im folgenden werden die verschiedenen Aspekte kurz geschildert und anschließend wird versucht, mögliche Zusammenhänge zum Phänomen "Gummibeton" aufzudecken.

2.1 Einflüsse auf die Verarbeitbarkeit von Beton

Beim Studium der einschlägigen Literatur fällt auf, daß das Wort "Verarbeitbarkeit" mit den Begriffen, Rüttelwilligkeit, Verdichtbarkeit, Beweglichkeit, Sperrigkeit, Konsistenz, Pumpbarkeit, Neigung zur Entmischung u.a. eng in Verbindung steht oder sogar verwechselt wird. Da die Erscheinung "Gummibeton" bei der Betonverdichtung beobachtet wird, beschränken wir uns auf die Verarbeitbarkeit im Sinne von Verdichtungswilligkeit.

Straßenbetone werden in Europa üblicherweise etwas nasser als erdfeucht, d.h. Konsistenzbereich K1 nach DIN 1045, mit einem Wasserzementwert $\leq 0,45$ eingebaut. Für die Verdichtung solcher Betone haben sich Rüttelfertiger seit 1935 bewährt [2], [5], [6], [10], [12].

Die Verdichtung kommt durch den Einfluß der Schwerkraft zustande, weil sich die Reibung zwischen den in Schwingung versetzten Zuschlagkörnern verringert und weil die Zähigkeit des Zementleimes während des Rüttelns stark abnimmt. Die Verdichtungswilligkeit wird im wesentlichen von folgenden Faktoren beeinflusst:

2.1.1 Kornzusammensetzung des Zuschlaggemisches

Zur Umhüllung der Kornoberfläche und zur Füllung der Hohlräume ist eine bestimmte Mindestmenge an Zementleim erforderlich. Bei gleichem Wasserzementwert benötigt ein Beton mit feinkörnigem Zuschlaggemisch daher mehr Zementleim als ein Beton mit gröberem Zuschlaggemisch. Auch bei rauher Kornoberfläche ist der Zementleimbedarf größer. Das bedeutet anders ausgedrückt: Bei gleichem Wassergehalt verlangt ein sandreicher Beton mehr Rüttelenergie als ein sandarmer [4], [5].

Der Wasseranspruch einer Sieblinie kann mit Hilfe der Körnungsziffer oder des Feinheitwertes nach Hummel [4] abgeschätzt werden. Der Wasseranspruch hängt aber von der Oberfläche des Korngemisches ab. In [11] wird gezeigt, daß Kornzusammensetzungen mit gleicher Feinheitzziffer beträchtliche Unterschiede in ihrer Gesamtoberfläche und damit auch in ihrer Verdichtungswilligkeit aufweisen können. Die Kornform besitzt dagegen keinen gesetzmäßigen Einfluß auf die Verdichtungswilligkeit. Diese Feststellung gilt getrennt für natürliches und gebrochenes Material [11]. Betone mit gebrochenen Zuschlägen verlangen grundsätzlich mehr Rüttelenergie als sonst gleich zusammengesetzte Betone mit natürlichen Zuschlägen. Straßenbetone für stark beanspruchte Verkehrswege enthalten nach TV Beton 72 [19] in der Korngruppe größer als 8 mm nur gebrochenes Material und nach ZTV-Beton 77 [20] nur noch zur Hälfte gebrochenes Material. Solche Betone können demnach relativ schwer verdichtbar sein, ein Federeffekt, wie beim Gummibeton beobachtet, ist aus der Kornzusammensetzung jedoch nicht ableitbar.

Die Zuschläge für Straßenbetone können nach den geltenden Vorschriften [19], [20], [21] mit stetiger Sieblinie oder in Form einer Ausfallkörnung zusammengesetzt sein. Einige Autoren [8], [18] glauben, daß Ausfallkörnungen verdichtungsunwillig sind, während andere Autoren gerade im Straßenbau mit Ausfallkörnungen gute Erfahrungen gemacht haben [10], [14], [15] und deren besonders gute Verdichtungswilligkeit hervorheben. Hummel [4] und Walz [5] haben Ausfallkörnungen eingehend untersucht und festgestellt, daß sie - zweckmäßig zusammengesetzt - gute Verarbeitbarkeit besitzen. Allerdings sind an Ausfallkörnungen bei kleinen Unterschieden im Wassergehalt größere Konsistenzunterschiede als bei stetigen Korngemischen zu beobachten [19]. Konsistenzschwankungen können beim Betonstraßenbau Unebenheiten zur Folge haben [2], [6], [8], [10], [17], ohne daß sich das typische Erscheinungsbild eines "Gummibetons" einzustellen braucht.

2.1.2 Mehlkorngehalt

Unter Mehlkorn werden die Betonbestandteile mit einem Korndurchmesser $\leq 0,25$ mm zusammengefaßt, also Zement, Feinstsand, abschlämbare Bestandteile, Zusatzstoffe wie Trass, Gesteinsmehle u.a. sowie Farbstoffe. Bis zum Erscheinen der neubearbeiteten DIN 1045 im Jahre 1972 lag die Mehlkorngrenze bei 0,20 mm. Durch die Anhebung der Prüfkorngröße von 0,20 auf 0,25 mm traten bei natürlichen Sanden regional Mehlkornerhöhungen von 50 - 100% auf [17]. Diese Unterschiede sind beim Vergleich älterer und neuerer Veröffentlichungen zu beachten.

Wie schon unter Abschn. 2.1.1 gezeigt wurde, wird die Verdichtbarkeit von Frischbeton im wesentlichen von der spezifischen Oberfläche des Zuschlaggemisches bestimmt. Die spezifische Oberfläche O_s , d.i. das Verhältnis von Kornoberfläche zur Gewichtseinheit, steigt nun mit abnehmendem Korndurchmesser außerordentlich rasch an. Ein Gewichtsprozent im Bereich 0,001 mm bis 0,09 mm besitzt 3100 m² Oberfläche gegenüber 34 m² im Bereich 1 bis 3 mm [3]. Daran ist die besondere Bedeutung des Mehlkorngehaltes für die Verdichtungswilligkeit von Beton zu erkennen. Beton benötigt in Abhängigkeit vom Größtkorn eine gewisse Mindestmenge an Mehlkorn [5]. Der optimale Mehlkorngehalt hängt aber von Zementart und -menge, Kornzusammensetzung, Wassergehalt u.a.m. ab und muß deshalb durch Eignungsprüfungen für den Einzelfall ermittelt werden [12].

Wegen der großen spezifischen Oberfläche des Mehlkorns nimmt die Verdichtungswilligkeit bei zunehmendem Mehlkornanteil natürlich schnell zu. Besonders auffällig ist aber die verschiedentlich gemachte Beobachtung, daß sich die Verdichtungs-willigkeit ab einem bestimmten Mehlkornanteil nahezu sprunghaft verschlechtert [5], [12], [15]. Walz [5] schrieb, daß

ein Beton mit 17% Gesteinsmehl o/o, 2 mm federnd wirkte, weil in ihm die Schwingungen des Rüttlers wesentlich schlechter weitergeleitet werden als im Beton mit sich berührenden, größeren Körnern.

Jurecka [12] hat festgestellt, daß ein Gummibeton-Verhalten bei Mehlkorngehalten oberhalb 400 kg/m³ entsteht und daß dann keine befriedigende Ebenheit der Betonoberfläche mehr zu erreichen ist.

Teubert [15] hat die rheologischen Zusammenhänge des Mörtels beim Auffüllen des Zementleimes mit Sandzuschlag untersucht. Er stellte fest, daß die Mörtelzähigkeit (Viskosität) mit steigendem Quarzmehlgehalt sehr schnell zunahm. Der Einfluß des Wasserzementwertes auf die Mörtelzähigkeit dagegen war sehr viel geringer. Teubert kommt zu dem Schluß, daß Gummibeton dann entsteht, wenn die Mörtelzähigkeit zu groß ist.

Auch andere Autoren vermuteten als Ursache für Gummibeton einen zu hohen Mehlkornanteil im Beton: So schreibt Streit [10] auf S. 143: "Beim Verdichtungsverfahren ist weiterhin zu beachten, daß sich die durch den Rüttler in den Beton eingebrachten Schwingungen noch auf eine gewisse Entfernung in den schon verdichteten Beton fortpflanzen. Diese Bewegungen können Unebenheiten verursachen. Sie sind gewöhnlich an den Vertiefungen erkennbar, die sich über den mitschwingenden Stahleinlagen (einer oberen Bewehrung) bilden. Diese Erscheinung steht im Zusammenhang mit der Konsistenz und dem Feinstsandanteil des Betons. Ein feinstsandreicher Beton mit großem Wasserrückhaltvermögen neigt besonders zu einem Federn". Streit empfiehlt deshalb einen Mehlkorngehalt von 350 bis 400 kg/m³ Beton.

Auch Uhl [13] schreibt auf S. 256/257: "Die Ebenheit kann durch einen feinemörtelreichen Beton sehr ungünstig beeinflusst werden. Dieser Beton, der zu viel Feinstsand und zu viel Wasser enthält, wird wegen seiner ungünstigen Eigenschaften "Gummibeton" genannt. - Beim Verdichten, teilweise auch erst beim Glätten, ist diese unangenehme, gummiartige Eigenschaft eines feinemörtelreichen Mischgutes zu erkennen".

Zusammenfassend kann geschlossen werden, daß Gummibeton im Zusammenhang mit dem Mehlkorngesamt gesehen werden muß. Deshalb wird versucht, den Einfluß der einzelnen Mehlkornbestandteile auf die Verdichtungswilligkeit einzugrenzen.

2.1.3 Zement

Den Einfluß der Zementfeinheit auf die Verarbeitbarkeit des Betons hat Papadakis [9] untersucht und festgestellt, daß die Viskosität mit der spezifischen Oberfläche rasch abnimmt und diese die ausschlaggebende Veränderliche darstellt. Nach [4] ist auch der Mineralaufbau von Einfluß. In [10] wird berichtet, daß fein gemahlene Zemente mit weniger als 2% Rückstand auf dem 4900-Maschensieb schlechte Verarbeitbarkeit des Betons ergeben können.

Daum [7] ist der Meinung, daß ungeeignete Zemente Gummibeton verursachen.

2.1.4 Zusammensetzung des Feinstsand

Betrachtet man die spezifische Oberfläche im Bereich 0,075 mm, so stellt man fest, daß Unterschiede in der Kornverteilung sich dort etwa zehnmal so stark auswirken wie Unterschiede im übrigen Sieblinienbereich. Trotzdem liegen über den Einfluß der Kornzusammensetzung im Feinstsandbereich auf die Verdichtungswilligkeit kaum Erfahrungen vor.

Kuhn [3] berichtete, daß zwei Sande unterschiedlicher Herkunft, die sich im genormten Siebbereich kaum unterschieden, große Unterschiede in der Verdichtungswilligkeit der mit ihnen hergestellten Betone ergaben. Die Ursache dafür war die unterschiedliche Zusammensetzung im Bereich kleiner als 0,2 mm.

Graf [1] hat den Einfluß von Ton, Lehm und Quarzmehl auf die Verarbeitbarkeit von Beton untersucht und festgestellt, daß das Ausbreitmaß mit wachsendem Anteil der feinen Zusatzstoffe zurückging.

Von besonderem Einfluß ist schließlich die Art, in der die staubfeinen Bestandteile im Zuschlag vorkommen; ob sie z.B. feinverteilt, in Knollen oder als Krusten anhaftend auftreten. Die genauen Zusammenhänge sind hierbei ebensowenig wie mögliche chemische Reaktionen bekannt.

2.1.5 Zusatzstoffe

Als Zusatzstoffe kommen für Straßenbetone in Betracht: Gesteinsmehle, Trass, Elektrofilterasche, Farbstoffe (z.B. Eisenoxidpulver u. Rußsuspensionen).

Diese Zusatzstoffe sind durchweg sehr feinkörnig und können deshalb, falls sie den Mehlkorngehalt zu stark erhöhen, die Verdichtungswilligkeit des Betons verschlechtern. Insbesondere sind die Farbstoffe äußerst fein und daher geeignet, den Mehlkornanteil ungünstig zu beeinflussen [10]. Daum [7] sieht in der Zugabe von natürlichen oder künstlichen Puzzolanen zum Zement eine der Ursachen des Gummibetons. Das steht im Widerspruch zu eigenen Erfahrungen, wonach diese Stoffe wegen der Kugelgestalt ihrer Körner die Verarbeitungseigenschaften des Betons verbessern ("Kugellager-Wirkung").

Über die Bedeutung der latent-hydraulischen Eigenschaften von Zusatzstoffen auf die Verdichtbarkeit liegen noch keine ausreichenden Erfahrungen vor.

2.1.6 Luftporenbildner

Straßenbetonen müssen zur Verbesserung des Frost-Tausalz-Widerstandes LP-Mittel zugesetzt werden. Der Durchmesser der künstlich eingeführten Luftporen liegt überwiegend zwischen 0,02 und 0,1 mm [5], d.h. der Größenordnung nach im Mehlkornbereich. Deshalb hat es sich bewährt, bei der Beurteilung des Luftporeneinflusses auf die Verdichtbarkeit des Betons, die künstlich eingeführten Luftporen dem Mehlkornanteil zuzurechnen [10].

Dabei bringt der Ersatz von mineralischem Mehlkorn durch künstliche Luftporen u.a. wegen deren Kugelform eine Verbesserung der Verdichtungswilligkeit. Werden aber einem Beton mit einem Mehlkorngesamt an der oberen Grenze (im Sinne von Abschnitt 2.1.2) durch ein LP-Mittel zusätzliche Luftporen eingeführt, so kann die Mischung derartig zäh und klebend werden, daß das Abgleichen von Oberflächen sehr erschwert wird [5]; d.h. es kann Gummibeton entstehen.

2.2 Zur Ebenheit von Betonfahrbahnen

Die Verarbeitung von Gummibeton hat eine unbefriedigende Ebenflächigkeit der Fahrbahn zur Folge. Da der Begriff "Gummibeton" in der einschlägigen Literatur nur selten auftaucht, wurden erreichbare Veröffentlichungen zum Thema "Ebenheit von Betonfahrbahnen" durchgesehen, um die Bedeutung der Betontechnologie hierfür abgrenzen zu können.

Es werden Veröffentlichungen und eigene Informationen in chronologischer Reihenfolge mit den dort genannten Einflüssen auf die Ebenheit genannt:

- Sparkes, 1953 [2]: Ungleichmäßige Verdichtung durch Abkippen des Frischbetons in Haufen.
- Kirkham, 1960 [6]: Wechselhafte Witterung, zu lange Einbauzeit, Maschinenmängel.
- Daum, 1961 [7] : Gummibeton durch ungeeignete Zemente und Puzzolane.
- Reverdy, 1961 [8]: Schlechte Verarbeitbarkeit durch grobkornreiche Ausfallkörnung, unzulänglicher Glättvorgang, Maschinenmängel, falsche Konsistenz an Gefällstrecken, schlechte Witterungsverhältnisse.
- Streit, 1964 [10]: Ungleichmäßige Konsistenz und Schütthöhe, zu hoher Feinstsandgehalt.

- Jurecka, 1966 [12]: Gummibeton bei mehr als 400 kg/m^3 Mehlkorngesamt.
- Uhl, 1966 [13]: Gummibeton infolge zu hohen Feinmörtelgehaltes.
- Teubert, 1974 [15]: Gummibeton durch zu große Mörtelzähigkeit infolge hohen Mehlkorngesamtes.
- Schroth, 1975 [16]: Schwertverteiler, Abstand Fertiger-Nachglätter zu klein.
- Bundesverband der Deut. Zementindustrie, 1976 [17]: Konsistenzschwankungen, Änderungen der Sandzusammensetzung.
- Hiddemann, 1976 [18]: Konsistenzschwankungen, kurzzeitigwechselnde oder zu schnelle Vortriebsgeschwindigkeiten.
- Reimer, 1978 [persönliche Mitteilung]:
Gummibeton entsteht bei Mehlkorngesamten $< 0,25 \text{ mm}$ von mehr als 550 kg/m^3 infolge der Mehlkorngrenzung auf 400 kg/m^3 durch die TV-Beton 72 tritt Gummibeton in Deutschland nicht auf.
- Rabenau, 1977 [persönliche Mitteilung]:
Beim Neubau der Autobahn A1 Lübeck-Neustadt ist die nach TV-Beton 72 geforderte Ebenheit nicht erreicht worden. Die Ursachen sind unbekannt. (Über die Ergebnisse eigener Untersuchungen wird im Abschnitt 3 berichtet).
- Grübl, 1978 [persönliche Mitteilung]:
Nach Ansicht des Arbeitsausschusses "Straßenbeton" sind die im Forschungsantrag aufgezeigten Problemfälle in der Praxis so gut wie nicht aufgetreten.

2.3 Zusammenfassung und Folgerungen

Das Literaturstudium, die Kontakte mit Straßenbauverwaltungen und die Informationen von Betonstraßenbaufachleuten lassen darauf schließen, daß unbefriedigende Ebenheiten bei Betonfahrbahnen als Folge von Verdichtungsschwierigkeiten vorgekommen sind.

Es kann als gesichert gelten, daß die Verdichtungswilligkeit von Beton im wesentlichen von der Summe der Kornoberflächen seiner Bestandteile abhängt. Für die Gesamtoberfläche einer Mischung ist der Mehlkorngesamt und dessen Zusammensetzung von ausschlaggebender Bedeutung.

Es scheint, daß Schwierigkeiten bei der Erzielung der geforderten Ebenheit im Laufe der letzten Jahre seltener geworden sind. Der Grund dafür liegt in der ständigen Verbesserung der technischen Einrichtungen einerseits und andererseits darin, daß die betontechnologischen Erkenntnisse in den Vorschriften ihren Niederschlag gefunden haben. Die Entwicklung von Vorschriften und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton wird deshalb im Hinblick auf ihre Angaben zur Dosierung von Feinstanteilen im folgenden dargestellt.

2.4 Vorschriften und Richtlinien für den Betonstraßenbau

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die in den Vorschriften seit 1956 enthaltenen Angaben über die Feinsandzusammensetzung und den Mehlkorngesamt.

	Siebdurchgang bei 0,20 mm (bzw. 0,25 mm) 1 mm		Mehlkorngesamt bei 32 mm Größtkorn
	Stoffraum-%	Stoffr. %	kg/m ³
RBB 1956	≤ 7	≤ 30	keine Angabe
DIN 1045 Ausg. 1959	≤ 9	≤ 24	keine Angabe
RBB 1963	≤ 5	≤ 25	keine Angabe
DIN 1045 Ausg. 1972	≤ 8	≤ 28	~ 400
TV Beton 72	≤ 5	≤ 18	≤ 400
ZTV Beton 77 Fass. 6/77	keine Angabe	≤ 27	≤ 450

Es ist festzustellen, daß von den speziellen Betonstraßen-Richtlinien bis 1972 die Feinstanteile stetig reduziert wurden. Die ZTV Beton 77 berücksichtigt dagegen einerseits den Übergang der Grenzsieblochweite von 0,20 auf 0,25 mm und andererseits die Tatsache, daß die von der TV Beton 72 geforderten Sandzusammensetzungen regional nicht zu verwirklichen waren. Einen Hinweis darauf, daß die künstlich eingeführten Luftporen in ihrer Wirkung auf die Verdichtbarkeit des Betons dem Mehlkorngehalt gleichkommen, ist noch in keiner Vorschrift enthalten. Auch sind keine oberen Grenzen für den Luftporengehalt angegeben. Für die Kornverteilung im Mehlkornbereich bis 0,25 mm gibt es nur die Angabe der DIN 4226, wonach Sande nicht mehr als 4 Gew.-% an abschlämbbaren Bestandteilen \leq 0,063 mm enthalten dürfen.

Wie die Beobachtungen in der Praxis zeigen, ist bei Beachtung der geltenden Vorschriften und Richtlinien und bei Verwendung bewährten Zuschlagmaterials nicht mehr mit dem Auftreten von Gummibeton zu rechnen. Solange jedoch die in Abschnitt 2.1 erwähnten, noch unbekannten Zusammenhänge im Mehlkornbereich nicht geklärt sind, ist insbesondere bei der Verwendung von neuerschlossenem Zuschlagmaterial und bei hohen Luftporengehalten die Gefahr von Gummibeton nicht vollständig auszuschließen.

3. Untersuchungen an der Autobahnneubaustrecke Lübeck-Neustadt im Zuge der A1

3.1 Vorbemerkungen

Der Arbeitsplan zum Forschungsantrag "Gummibeton" sah vor, die Sande von Baustellen zu untersuchen, an denen es Schwierigkeiten beim Erreichen der geforderten Ebenheit gab, welche möglicherweise auf Gummibeton zurückzuführen sind. Solche Schwierigkeiten sind beim Neubau der A1 zwischen Lübeck und Neustadt im Herbst 1974 aufgetreten.

Bei einer Besichtigung der Strecke im Februar 1978 bestanden die Unebenheiten in unregelmäßig verteilten Tälern und Hügeln. Die mittlere Wellenlänge betrug schätzungsweise 3 bis 8 m. Diese Unebenheiten beeinträchtigten den Fahrkomfort am stärksten bei einer Geschwindigkeit von ca. 100 km/h. Die bei der Abnahme mit dem Planografen gemessenen Unebenheiten lagen in der Größenordnung von 6 - 10 mm über der zulässigen Abweichung.

Leider konnte nach Ablauf von mehr als 3 Jahren im Gespräch mit Angehörigen der Bauaufsicht nicht mehr eindeutig geklärt werden, ob sich bei der Herstellung der Betonfahrbahnen das Phänomen "Gummibeton" gezeigt hat oder nicht. Zu Klärung dieser Frage wurden an Rückstellproben des verwendeten Sandes der Korngruppe 0/2 mm aus der Grube Lebatz bei Bad Segeberg die Kornzusammensetzung und die Kornform untersucht. Die Ergebnisse werden mit denen eines bewährten Betonsandes aus Sonnenberg bei Braunschweig verglichen.

3.2 Untersuchungsergebnisse

3.2.1 Siebanalyse nach DIN 4193

Die Kornzusammensetzung der Sande zeigt die folgende Tabelle:

	Durchgang durch das Prüfsieb in Gew.-%								
	0,063	0,09	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8
Lebatz	1,0	1,4	2,6	11,2	38,8	67,7	96,6	99,9	100
Sonnenberg	0,8	0,9	1,3	6,8	37,6	71,8	91,5	99,8	100

3.2.2 Auswaschversuch nach DIN 4226

Der Gehalt an abschlämmbaren Bestandteilen bis zur Korngröße 0,063 mm wurde mit dem Auswaschversuch ermittelt.

Abschlämbbare Bestandteile in Gew.-%:

Lebatz : 1,01%

Sonnenberg: 0,78%

3.2.3 Kornform

Die Fraktionen ≤ 1 mm wurden mikroskopisch untersucht und die Rundungsgrade nach Russel-Taylor-Pettijohn in der Übersetzung von Müller bestimmt ¹⁾. Es werden fünf Rundungsgrade unterschieden: gut gerundet - gerundet - angerundet - subangular - angular (s. Anlage 2). Die Anteile der Rundungsgrade je Kornfraktion und auf das Korngemenge bezogen sind auf Anlage 1 wiedergegeben. Danach liegen beim Sand "Sonnenberg" 74% in den Bereichen "gerundet" und "gut gerundet", beim Sand "Lebatz" dagegen nur 47%. Der Sand "Lebatz" ist also deutlich scharfkantiger als der Sand "Sonnenberg".

3.3 Zusammensetzung des Fahrbahndeckenbetons

Im folgenden werden die Durchschnittswerte der Frischbetonbestandteile, festgestellt nach DIN 1048, Blatt 1 durch das Autobahnneubauamt, angegeben:

340 - 390 kg/m³ PZ 350 F, Alsen-Breitenburg,

W/Z-Wert: 0,36 - 0,43

Zuschlag: 28% Sand 0/2, Lebatz

7% Diabassplitt 2/8, Newlyn

25% Noritedelsplitt 8/11

40% Noritedelsplitt 11/22

Mehlkorngehalt 420 - 460 kg/m³

LP-Gehalt 3,0 - 5,0 Vol.-%

Verdichtungsmaß: 1,35 (Eignungsprüfung)

Druckfestigkeit: β_{w28} = 47 bis 76 N/mm²

Die Korngruppe 2/8 ist zeitweise entfallen, wodurch eine Sieb-
linie mit Ausfallkörnung entstand. Eine Auswirkung auf die er-
reichte Ebenheit konnte nicht festgestellt werden.

1) German Müller: Methoden der Sediment-Untersuchung,
Sediment-Petrologie, Teil 1, Stuttgart 1964

3.4 Beurteilung der Untersuchungsergebnisse

Der beim Neubau der Autobahn Lübeck-Neustadt verwendete Sand aus Lebatz besaß einen relativ hohen Feinstanteil $\leq 0,25$ mm von 11,2%. In der Zusammensetzung im Feinstbereich unterschied er sich nicht wesentlich von dem als gut bekannten Vergleichsand. Der Sand aus Lebatz kann als vergleichsweise scharfkörnig gelten. Der Zuschlag oberhalb 2 mm bestand nur aus gebrochenem Material. Somit ist die Oberfläche des Zuschlages insgesamt als außergewöhnlich rauh anzusehen.

Infolge des hohen Zementgehaltes in Verbindung mit dem hohen Feinstanteil im Zuschlag ergab sich ein Mehlkorngelalt, der oberhalb der vorgeschriebenen Grenzen lag. Die negativen Auswirkungen dieses hohen Mehlkorngelaltes auf die Verdichtungswilligkeit des Betons wurden durch die künstlich eingeführten Luftporen noch verstärkt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß hier ein sehr verdichtungsunwilliger Beton infolge zu hohen Mehlkorngelaltes und hoher Oberflächenrauigkeit des Zuschlages verarbeitet werden mußte, was sich sicherlich ungünstig auf die erreichbare Fahrbahnebenheit ausgewirkt hat.

4. Zusammenfassung

In diesem Sachstandsbericht wurde über den derzeitigen Wissensstand über Einflüsse auf die Verdichtungswilligkeit von Beton unter besonderer Berücksichtigung des Straßenbetons und auf die Ebenflächigkeit von Betonfahrbahndecken berichtet. Die theoretischen Erkenntnisse konnten durch Beobachtungen an einer Neubaustrecke bestätigt werden. Es kann jedoch als sicher gelten, daß bei Beachtung der neuesten Vorschriften und sorgfältiger Baustoffwahl die Gefahr des Auftretens von Gummibeton gering ist. Auch der Arbeitsausschuß "Betonstraßen" ist in seiner letzten Sitzung im Februar 1978 zu dem Schluß gekommen, daß die im Forschungsantrag aufgezeigten Probleme in der Praxis so gut wie nicht mehr auftreten. Deshalb soll die Forschungsarbeit mit diesem Sachstandsbericht beendet werden.

Braunschweig, im Juni 1978

Der Direktor

Der Sachbearbeiter

(o.Prof. Dr.-Ing. Rostásy)

(Dipl.-Ing. Ranisch)

5. Literaturverzeichnis

- [1] Graf, O.: Die Eigenschaften des Betons, 1950.
Springer-Verlag.
- [2] Sparkes, F.N.: Concrete roads (Betonstraßen in England)
Schriftenreihe Arbeitsgruppe Betonstraßen (Forschungs-
ges. für das Straßenwesen, Köln), Heft 4, 1953.
- [3] Kuhn, R.: Der Einfluß der Feinstsandaufbereitung auf den
Beton des Lechkraftwerkes Rain,
Beton- und Stahlbetonbau 1955, S. 179
- [4] Hummel, A.: Das Beton-ABC, 12. Aufl. 1959, Verlag Wilhelm
Ernst u. Sohn, Berlin
- [5] Walz, K.: Rüttelbeton, 3. Aufl. 1960,
Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin
- [6] Kirkham, R.H.H.: Neueste Erfahrungen im Zusammenhang mit
der Ebenflächigkeit von Betonstraßen in Großbritannien
beton 1960, S. 411
- [7] Daum, J.: Die Betontechnologie und die Messung der Eben-
flächigkeit beim Bau von Betonfahrbahndecken,
Straße und Autobahn 1961, S. 197
- [8] Reverdy, G.: Eigenschaften und Ebenflächigkeit der Beton-
fahrbahnen der Autobahn Paris-Süd,
Straße und Autobahn 1961, S. 456
- [9] Papadakis, M.: Die Bedeutung der Feinststoffe in der
Fließkunde des Frischbetons,
Betonsteinzeitung 1963, S. 555
- [10] Streit, G.: Handbuch des Betonstraßenbaues 1964,
Bauverlag GmbH., Wiesbaden-Berlin
- [11] Plagemann, W.: Der Einfluß der Kornform und Oberfläche
der Zuschlagstoffe auf die Verdichtungswilligkeit und
den Zementbedarf des Frischbetons,
beton 1965, S. 51

- [12] Jurecka, W. und E. Vluchakis: Vergleichende Untersuchungen über Straßenbeton unter Änderung der Kornzusammensetzung im Feinsandbereich und Verdichtung durch Oberflächenrüttler,
Straßenbau und Straßenverkehrstechnik 1966, Heft 48
- [13] Uhl, A.: Die Ebenheit von Betonfahrbahnen,
beton 1966, S. 254
- [14] Reimer, B.: Erfahrungen mit Ausfallkörnungen beim Betondeckenbau in der Bundesrepublik Deutschland,
Zement und Beton 1972, Heft 61/62
- [15] Teubert, J.: Zur Technologie des Frischbetons beim Bau von Betonfahrbahndecken,
Straße und Autobahn 1974, S. 426
- [16] Schroth, E.: Erfahrungen mit der TV-Beton 72,
Straßen und Tiefbau 1975, Heft 2, S. 9
- [17] Straßenbau heute - Betondecken -
Bundesverband der Deut. Zementindustrie, Köln 1976
- [18] Hiddemann u. Birkemeyer: Einlagiger Betonfahrbahndeckenbau auf der BAB A61,
Straße und Autobahn 1976, S. 51

Vorschriften und Normen:

- [19] Technische Vorschriften und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton
- TV Beton 72 -
Ausgabe 1972, Veröffentlicht: Der Bundesminister f. Verkehr
- [20] Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton
- ZTV Beton 77 -
Ausgabe 1977, Entwurfsfassung Juni 1977
- [21] DIN 1045: Beton- und Stahlbetonbau
- Bemessung und Ausführung -
Ausgabe Januar 1972
- [22] DIN 4226: Zuschlag für Beton
Ausgabe Dezember 1971

Anlage 1 zum Sachstandsbericht

Beurteilung der Kornform nach Russel-Taylor-Pettijohn

1. Anteil der Rundungsgrade in Gew.-% je Korngruppe (aufsummiert)

Korngruppe	Herkunft	gut gerundet	gerundet	angerundet	subangular	angular
o/o,125	Lebatz	0	50	90	100	
	Sonnenberg	0	50	85	100	
o,125/o,25	Lebatz	0	50	85	95	100
	Sonnenberg	0	80	90	100	
o,25/o,5	Lebatz	0	40	70	90	100
	Sonnenberg	5	80	95	100	
o,5/1,0	Lebatz	10	55	85	95	100
	Sonnenberg	30	70	90	100	

2. Anteil der Rundungsgrade in Gew.-% im Korngemenge ≤ 1 mm

Lebatz

Korngruppe	Anteil %	gut gerundet	gerundet	angerundet	subangular	angular
o/o,125	3,8	0	2	3	4	4
o,125/o,25	12,5	0	6	11	12	12
o,25/o,5	49,8	0	16	29	37	41
o,5/1,0	42,7	4	23	36	40	43
Summe	100	4	47	79	93	100

Sonnenberg

Korngruppe	Anteil %	gut gerundet	gerundet	angerundet	subangular	angular
o/o,125	1,8	0	1	1	2	2
o,125/o,25	7,8	0	6	7	8	8
o,25/o,5	42,8	2	34	38	43	43
o,5/1,0	47,5	14	33	43	47	47
Summe	100	16	74	89	100	100

Anlage 2 zum Sachstandsbericht

Rundungsgrade nach Russel-Taylor-Pettijohn
(nach einer Darstellung bei Schneiderhörn 1954)

Reihen von oben nach unten: angular - subangular - angerundet - gerundet - gut gerundet.

